№ 75.

ТЕОРІЯ ТЕПЛОТЫ

ИЗЪ

ФИЗИКИ ДАГЕНА (DAGUIN).

ПЕРЕВЕДЕНА

ПОДЪ РЕДАКЦІЕЮ АКАДЕМИКА

Э. Ленца.

Цѣна 3 р. 50 к., съ пересылкою 4 р. сер.

САНКТПЕТЕРБУРГЪ.

ИЗДАНІЕ ОБЩЕСТВА ОБЩЕСТВЕННОЙ ПОЛЬЗЫ.

1861.

ПЕЧАТАТЬ ПОЗВОЛЯЕТСЯ,

съ тѣмъ, чтобы по отпечатаніи было представлено въ Цензурный Комитетъ узаконенное число экземпляровъ. С.-Петербургъ, 18 Августа 1861 года.

Цензоръ *К. Обертъ.*

Типографія Товарищества «Общественная польза».

ОГЛАВЛЕНІЕ.

	стран.
Невѣсомыя жидкости	1
Глава I.—*О теплородѣ вообще и объ измѣреніи температуръ.*	
§ 1. — О свойствахъ теплорода	3
§ 2. — Измѣреніе температуръ	
I. О температурѣ вообще	8
II. О термометрѣ	12
Глава II.—*О лучистомъ теплородѣ.*	
§ 1. — Распространеніе лучей теплорода въ одной и той же срединѣ	
I. Законы передачи теплорода на разстоянія	39
II. Отраженіе теплорода	43
§ 2. — О прохожденіи теплорода чрезъ наружную поверхность тѣлъ	51
I. Испускательная способность	51
II. Отражательная способность	61
III. Поглощительная способность	66
§ 3. — О равновѣсіи лучеиспускаемой теплоты	74
§ 4. — О законахъ охлажденія	86
I. Законъ относительно температуры ограды	94
II. Законъ относительно избытковъ температуры	95
§ 5. — Передача лучеиспускаемой теплоты сквозь тѣла	
I. Способность теплопрозрачности	114
II. О преломленіи теплоты	126
§ 6. — О теплоцвѣтности.	
I. Теплоцвѣтность теплородныхъ лучей	131
II. Теплоцвѣтность тѣлъ	141
Глава III.—*О теплопроводности тѣлъ.*	
§ 1. — Теплопроводность твердыхъ тѣлъ.	
I. Теплопроводность однородныхъ твердыхъ тѣлъ	153
II. О теплопроводности въ неоднородныхъ твердыхъ тѣлахъ	169
§ 2. — О теплопроводности жидкостей	177
Глава IV.—*О расширеніи*	186
§ 1.—Расширеніе твердыхъ тѣлъ	187
I. Измѣреніе линейнаго расширенія твердыхъ тѣлъ между 0° и 100°	190
II. Кубическое расширеніе твердыхъ тѣлъ. Расширеніе свыше 100°	197
III. Примѣненіе расширенія твердыхъ тѣлъ	107

§ 2.—Расширеніе жидкостей..... 219
I. Измѣреніе абсолютнаго расширенія ртути.....
II. Законы расширенія другихъ жидкостей, кромѣ ртути..... 228
III. Расширеніе воды. Максимумъ плотности..... 237
§ 3.—Расширеніе газовъ.
I. Измѣреніе расширенія газовъ..... 245
II. Сравненіе термометровъ. Воздушный пирометръ..... 265
III. Измѣреніе плотности газовъ..... 271
IV. Приложенія расширенія воздуха..... 281
Глава V.—*Теплоемкость*..... 287
§ 1.—Теплоемкость тѣлъ твердыхъ и капельножидкихъ.
I. Методы измѣренія теплоемкости..... 288
II. Законъ удѣльнаго теплорода атомовъ..... 299
§ 2.—Удѣльный теплородъ газовъ..... 315
Глава VI.—*Измѣненія состоянія тѣлъ. Пары*..... 334
§ 1.—Переходъ изъ твердаго состоянія въ капельножидкое и обратно.....
I. Переходъ изъ твердаго состоянія въ капельножидкое..... 335
II. Переходъ изъ жидкаго состоянія въ твердое..... 339
III. Обращеніе тѣлъ въ жидкое состояніе посредствомъ его растворенія..... 346
IV. Измѣреніе скрытой теплоты капельнаго состоянія..... 352
§ 2.—Переходъ изъ капельнаго состоянія въ газообразное и обратно..... 372
I. Пары въ пустотѣ..... 375
II. Смѣсь паровъ съ газами..... 379
III. О кипѣніи..... 386
IV. Обращеніе въ жидкость паровъ и газовъ..... 407
§ 3.—Физическія свойства паровъ. Давленіе. — Скрытый теплородъ. — Плотность.....
I. Измѣреніе упругости паровъ..... 414
II. Измѣреніе скрытаго теплорода паровъ..... 426
III. Измѣреніе плотности паровъ..... 438
§ 4.—Паровыя машины.....
I. Неподвижныя паровыя машины..... 446
II. Паровые котлы..... 480
III. Пароходы..... 495
IV. Паровозы..... 503
Глава VII.—Источники теплоты и холода..... 516
§ 1.—Искусственные источники теплоты.....
I. Дѣйствія механическія..... 517
II. Теплота, освобождаемая при химическихъ соединеніяхъ... 532
III. Измѣреніе количества теплорода, освобождающагося при химическихъ дѣйствіяхъ..... 547
IV. О способахъ произведенія искусственнаго холода..... 581
V. О механическомъ эквивалентѣ теплоты..... 589

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Переводъ этого сочиненія былъ уже по большой части окончеиъ въ началѣ лѣта 1859 года; и только затрудненіе въ полученіи политипажей задержало до сихъ поръ его изданіе. Въ 1860-мъ году явился второй томъ физики Жамена (Jamin), содержащій теорію теплорода, и хронологическій этотъ порядокъ уже устраняетъ самъ по себѣ вопросъ, почему для перевода на русскій языкъ, была избрана статья Дагена, а не Жамена о теплородѣ. — Но и не зависимо отъ этого можно оправдать появленіе перевода Дагена достоинствомъ самаго сочиненія.

Нельзя не признать, что курсъ Физики Жамена весьма выгодно отличается отъ прочихъ сочиненій этого рода большею самостоятельностію и сжатостію изложенія, при полномъ сохраненіи ясности и строгости выводовъ: по этой причинѣ сочиненіе Жамена можетъ преимущественно служить, какъ руководство, при университетскихъ лекціяхъ. — Сочиненіе же Дагена есть не что иное, какъ

хорошая компиляція всѣхъ появившихся до сихъ поръ изслѣдованій по этому предмету, обусловливающихъ нынѣшнее состояніе науки. Оно содержитъ болѣе, чѣмъ руководство Жамена и будетъ весьма полезно для всякаго, желающаго познакомиться съ какою-либо частью науки о теплотѣ, при чемъ ему не мало поможетъ литературара, относящихся сюда главнѣйшихъ ученыхъ статей, указанія на которыя онъ найдетъ въ выноскахъ, въ видѣ примѣчаній.

Поэтому я полагаю, что переводъ статьи Дагена будетъ настоящимъ обогащеніемъ Русской литературы, не имѣвшей до сихъ поръ подробнаго сочиненія о теплотѣ, этомъ главномъ дѣятелѣ природы, который въ то же время имѣетъ столь важное значеніе и въ практической жизни—какъ въ домашнемъ быту, такъ и въ промышленности.

Э. Ленцъ.

О ТЕПЛОРОДѢ.

Невѣсомыя жидкости.—Разсматривая совокупность явленій природы, физики были приведены къ принятіе двоякаго рода матеріи: матеріи осязаемой и вѣсомой, способной проявляться въ трехъ состояніяхъ—твердомъ, жидкомъ и воздухообразномъ,—и матеріи неосязаемой, которой вѣсъ ускользаетъ отъ всякаго опредѣленія, чрезвычайно подвижной и тонкой, производящей явленія *теплоты*, *свѣта*, *электричества* и *магнитизма*. Вѣсомая матерія разбросана въ пространствѣ въ отдѣльныхъ массахъ, отстоящихъ одна отъ другой на огромныхъ разстояніяхъ; измѣненія, происходящія въ этихъ массахъ, передаются въ веществѣ ихъ составляющемъ со скоростью, не превышающею 16405 ф. въ секунду, что равняется скорости распространенія звука въ твердыхъ тѣлахъ. Другой родъ матеріи распространенъ повсюду; для него не существуетъ пустоты и движенія этой матеріи передаются со скоростью равняющейся по-крайней-мѣрѣ 280,000 верстъ въ секунду. Эта огромная подвижность служила поводомъ къ сравненіе этой матеріи съ жидкостью, а названіе *жидкости невѣсомой* ей было дано по причинѣ невозможности отъисканія въ ней какого-либо вѣса.

Гипотеза объ эѳирѣ. Явленія теплоты, свѣта и электричества долгое время приписывали отдѣльнымъ невѣсомымъ жидкостямъ, такъ-что на основаніи этой теоріи теплородъ, свѣтъ и т. д. составляли каждый особое вещество. Но по-мѣрѣ-того какъ наука совершенствовалась, удавалось все болѣе-и-болѣе сближать между собою эти разнородныя явленія, и въ настоящее время ихъ, по бо́льшей части, разсматриваютъ какъ проявленія движенія одного и того же вещества, весьма упругаго, имѣющаго весьма незначительную плотность, распространеннаго повсюду въ пространствѣ, даже въ самой совершенной пустотѣ и наполняющаго промежутки между состав-

ными частицами вѣсомой матеріи. Такимъ-образомъ теплота, свѣтъ и электричество не составляютъ отдѣльныхъ веществъ, но суть только послѣдствія особенныхъ сотрясательныхъ движеній, сообщенныхъ этой повсемѣстной жидкости, подобно тому, какъ и звукъ не есть вещество, а только слѣдствіе сотрясенія какого-либо вещества. Повсюду распространенная жидкость эта получила названіе *эѳира*. Слово это заимствовано у древнихъ, впрочемъ не придававшихъ ему вообще того же значенія, какое придаемъ мы. Ороей однакожъ употребляетъ это слово для обозначенія основной стихіи міра; Анаксагоръ называетъ этимъ именемъ стихію огня, а Платонъ подразумѣваетъ подъ эѳиромъ вещество болѣе чистое и болѣе мягкое, чѣмъ воздухъ.

Какъ эѳиръ распространенъ повсюду въ пространствѣ, то очевидно, что посредствомъ опыта нельзя доказать, имѣетъ ли эѳиръ какой-либо вѣсъ. Относительно этого вещества мы находимся въ такомъ же положеніи, въ какомъ бы мы были, когда бы намъ пришлось взвѣсить воздухъ въ сосудѣ, котораго стѣнки были бы похожи на рѣшето. Вѣроятно, однакожъ, что эѳиръ имѣетъ вѣсъ, т.-е. повинуется *притяженію* вѣсомой матеріи, потому-что измѣненія претерпѣваемыя лучомъ свѣта при прохожденіи чрезъ прозрачный кристаллъ, котораго упругость не по всѣмъ направленіямъ одинакова, показываютъ, что эѳиръ, скопившійся вокругъ частицъ кристалла, имѣетъ по различнымъ направленіямъ онаго различныя плотности; обстоятельство же это приписываютъ неодинаковому притяженію частичныхъ группъ.

Ипотеза о эѳирѣ была по большей части всѣми принята, по причинѣ своей простоты и удобства, съ которымъ этою теоріею объясняются всѣ почти явленія. Послѣдствія этой теоріи были въ-особенности изслѣдованы при изученіи явленій свѣта, причемъ всегда оказывалось, что теоретическіе выводы самымъ удовлетворительнымъ образомъ согласовались съ результатами, полученными изъ опытовъ.

Въ этой книгѣ мы займемся исключительно явленіями теплоты; причемъ факты и законы, полученные изъ наблюденій, мы будемъ каждый разъ, какъ представится къ тому случай, сравнивать съ теоретическими выводами къ нимъ относящимися.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

О теплородѣ вообще и объ измѣреніи температуръ.

§ 1. О свойствахъ теплорода.

2. Общія дѣйствія теплорода. — Каждому изъ насъ извѣстны ощущенія тепла и холода. Причина производящая эти ощущенія, дѣйствующая съ бо́льшимъ или меньшимъ напряженіемъ, получила названіе *теплоты* или *теплорода*. Между обоими этими словами дѣлаютъ часто различіе, обозначая первымъ преимущественно самое дѣйствіе, а вторымъ причину этого дѣйствія; однако часто выраженія эти употребляются и одно вмѣсто другаго. Теплота есть дѣятель, распространенный повсюду въ природѣ. Истекая изъ солнца и звѣздъ, теплота наполняетъ по всѣмъ направленіямъ проходимое ею пространство; она какъ-бы предназначена для оживленія вселенной и присутствіе теплоты необходимо для существованія органическихъ существъ. Страны земнаго шара, въ которыхъ только слабо ощущается вліяніе теплоты, являютъ собою безотрадное опустѣніе глазамъ путешественника, представляющее только глыбы снѣга и льду, и только кой-гдѣ попадаются нѣкоторыя изъ низшихъ растеній и особенныя породы животныхъ, блуждающихъ въ этихъ ледовитыхъ пустыняхъ и какъ-бы свидѣтельствующихъ своимъ присутствіемъ о могуществѣ животворной силы природы.

Но не одни лишь органическія существа ощущаютъ вліяніе теплоты; дѣйствіе ея подчиняются также тѣла неодушевленныя и неорганическія. Теплота разлагаетъ эти тѣла, разъединяя разнородныя составныя частицы оныхъ, или же соединяетъ эти частицы, которыя безъ посредства теплоты оставались бы только смѣшанными безъ взаимнаго соединенія между собою. Эти дѣйствія теплоты составляютъ преимущественно предметъ изученія химіи. Теплота измѣняетъ также состояніе тѣлъ; подъ вліяніемъ оной твердыя тѣла превращаются въ жидкія, а жидкія переходятъ въ газообразныя. Кромѣ этихъ разительныхъ дѣйствій, вліяніе теплоты на тѣла обнаруживается уже тѣмъ, что дѣйствіемъ ея частицы тѣла отдаляются одни отъ другихъ, между-тѣмъ какъ съ уменьшеніемъ напряженія теплоты, эти послѣднія снова между собою сближаются. Наконецъ дѣйствіемъ теплоты частицы тѣла удерживаются одни отъ другихъ въ нѣкоторомъ разстояніи и не могутъ достигнуть совер-

шеннаго соприкосновенія, къ которому они стремятся, побуждаемыя силою сцѣпленія.

Промышленность ежедневно пользуется разнообразными явленіями, производимыми теплородомъ и на знакомствѣ съ его свойствами основаны успѣхи бо́льшаго числа искусствъ. Люди, незнавшіе употребленіе огня, оставались въ невѣжествѣ и дикомъ состояніи. Нѣкоторые изъ древнихъ народовъ, пораженные необычайностью явленій, производимыхъ теплотою, дѣйствіемъ ея на живыя существа, равно и на неодушевленныя тѣла, поклонялись ей подъ названіемъ *огня*.

3. О сущности теплорода. — Сущность теплорода до-сихъ-поръ еще остается тайною для науки. Изъ опыта извѣстно, что онъ можетъ передаваться двоякимъ образомъ: во-1-хъ, на разстояніи, въ пространствѣ пустомъ или наполненномъ различными срединами, не представляющими прохожденію теплоты значительнаго сопротивленія, какъ напр. воздухъ, сквозь который достигаетъ къ намъ солнечная теплота, или теплота какого-либо пламени; во-2-хъ, въ самомъ веществѣ тѣлъ, отъ частицы къ частицѣ, какъ это бываетъ напр. при прониканіи жара заключеннаго въ печи къ наружной ея поверхности. Теплородъ, слѣдовательно, есть дѣятель состоящій изъ рѣдчайшаго вещества, одареннаго, сверхъ-того, весьма большою упругостью, что доказывается легкостью, съ которою оно отражается отъ полированной поверхности тѣлъ. Проникая въ тѣла и нагрѣвая ихъ, теплородъ не увеличиваетъ вѣса оныхъ, вслѣдствіе чего теплороду и дали названіе жидкости *невѣсомой*.

Теплородъ невѣсомъ. Множество опытовъ было произведено съ цѣлью узнать, увеличиваетъ ли теплота вѣсъ тѣлъ. Бойль (Boyle), найдя, что прокаленные металлы увеличивались въ вѣсѣ, приписалъ это явленіе вѣсомости самаго теплорода. Однако нынѣ извѣстно, что увеличеніе вѣса, происходящее въ этомъ случаѣ, зависитъ отъ поглощенія находящагося въ воздухѣ кислорода, съ которымъ соединяются частицы поверхности металловъ. Впрочемъ Нолле (Nollet) уже отъ самаго начала полагалъ, что въ объясненіи Бойля кроется какое-либо недоразумѣніе. Бергавъ (Boerhave) нашелъ, что вѣсъ накаленнаго до-красна ядра не превышалъ вѣса того же ядра въ холодномъ состояніи; но опытъ этотъ потому не могъ служить убѣдительнымъ доказательствомъ, что движеніе восходящаго воздуха, разрѣженнаго вокругъ нагрѣтаго тѣла, должно было приподнимать чашку вѣсовъ. Лавуазьѐ (Lavoisier), заключивъ извѣстное количество воды въ

стеклянную колбу, герметически закрытую, нашелъ, что вѣсъ воды постоянно оставался тотъ же самый, была ли вода заморожена, или оставалась въ обыкновенномъ состояніи; ледъ же при таяніи поглощаетъ огромное количество теплоты: достаточно сказать, что поглощаемое въ этомъ случаѣ количество теплоты въ состояніи накалить до-бѣла кусокъ золота равнаго вѣса съ водою; тѣмъ не менѣе однакожъ это огромное количество теплоты не обнаружило никакого вѣса. Румфортъ (Rumfort) и Гитонъ де-Морво (Guiton de Morveau повторяли этотъ опытъ и пришли къ тому же заключенію.

Приведемъ еще слѣдующій опытъ, произведенный въ первый разъ въ 1811 г. Двѣ реторты соединяютъ такимъ-образомъ между собою, чтобы горло одной реторты входило въ горло другой, и герметически задѣлываютъ смычку. Одна изъ ретортъ содержитъ концентрированную сѣрную кислоту, другая воду. Снарядъ тщательно взвѣшиваютъ и потомъ мало-по-малу смѣшиваютъ обѣ жидкости. При этомъ отдѣляется огромное количество теплоты, которое вскорѣ теряется и снарядъ снова становится столь же холоднымъ, каковымъ онъ былъ до смѣшенія обѣихъ жидкостей. Однако потеря такого огромнаго количества теплоты не производитъ никакого измѣненія въ вѣсѣ снаряда. Итакъ посредствомъ опыта нельзя было доказать вѣса теплорода по этому и считаютъ его невѣсомымъ.

4. Источники теплорода. Теплородъ, невѣсомый самъ-по-себѣ не можетъ однако проявляться безъ посредства вѣсомой матеріи, и дѣйствительно, каждое явленіе теплорода сопряжено съ присутствіемъ вѣсомаго тѣла, изъ котораго изливается теплота какъ напр. отъ солнца, или же тѣлъ въ состояніи горѣнія. Теплота не можетъ образоваться въ пустотѣ, въ которой встрѣчается только теплота, испускаемая какимъ-либо тѣломъ. Въ пустомъ пространствѣ, слѣдовательно, теплота можетъ находиться только въ состояніи движенія.

Тѣла издающія теплоту, называются *источниками теплоты;* источники эти бываютъ постоянные, какъ напр. солнце, звѣзды, и такіе, которые могутъ быть произведены по желанію. Напр. производя сильное треніе между двумя тѣлами, или подвергая тѣла сильному давленію, также частому удару можно произвести большое количество теплоты. Вообще, теплота отдѣляется при каждомъ измѣненіи относительнаго расположенія частицъ тѣла. Въ-особенности въ большомъ количествѣ отдѣляется теплота при химическихъ дѣйствіяхъ, ибо въ этихъ случаяхъ происходятъ наибольшія измѣненія относительнаго положенія частицъ тѣла; поэтому, обыкновенно при-

бегаютъ къ этимъ дѣйствіямъ для добыванія потребныхъ количествъ теплоты. Такъ напр. горѣніе есть ни что иное, какъ явленіе соединенія горящаго тѣла, или его частицъ, съ кислородомъ воздуха. Впослѣдствіи мы разсмотримъ въ подробности условія возбужденія теплоты.

5. Теплородъ въ тѣлахъ.—Нагрѣтыя тѣла издаютъ теплоту по всѣмъ направленіямъ, теплота эта можетъ быть принимаема менѣе нагрѣтыми тѣлами, вблизи расположенными. Эти послѣднія тѣла обнаруживаютъ различныя способности, относительно легкости, съ которою они пропускаютъ теплоту сквозь ихъ поверхность, — относительно удобства, съ которымъ теплота проникаетъ въ массу этихъ тѣлъ,—наконецъ относительно вмѣстимости въ нихъ большихъ или меньшихъ количествъ теплоты.

Теплородъ содержащійся въ тѣлахъ, раздѣляется на двѣ части: на часть доступную для нашихъ органовъ, производящую ощущеніе теплоты и всегда готовую передаваться тѣламъ болѣе холоднымъ—ее называютъ *свободнымъ теплородомъ*, или просто теплотою — и на часть не имѣющую никакого видимаго дѣйствія, скрытую въ промежуткахъ между частицами тѣла и называемую *скрытымъ теплородомъ* или *скрытою теплотою*. Когда тѣло плавится отъ дѣйствія огня, то огромное количество теплоты становится скрытою, и существованіе скрытой теплоты было именно въ первый разъ замѣчено при разсматриваніи явленія плавленія тѣлъ.

Мы видимъ изъ вышесказаннаго, что теплородъ по существу своему можетъ быть разсматриваемъ: во-1-хъ, въ тѣлъ, въ состояніи быстраго движенія въ пространствѣ, образуя въ этомъ случаѣ такъ-называемый лучистый теплородъ; во-2-хъ, въ самихъ тѣлахъ, гдѣ онъ можетъ находиться въ движеніи, передаваясь отъ частицы къ частицѣ въ самомъ веществѣ тѣла, или же быть въ покоѣ, въ состояніи свободнаго или скрытаго теплорода. Состояніе равновѣсія свободнаго теплорода, т.-е. положеніе въ которомъ тѣло не пріобрѣтаетъ и не теряетъ теплоты, составляетъ *температуру* этого тѣла.

6. Гипотезы о существѣ теплорода — Древніе, зная только самыя обыкновенныя явленія теплорода, имѣли о существѣ его весьма шаткія и ложныя понятія, смысла которыхъ даже трудно добиться изъ сбивчивыхъ объясненій, оставленныхъ древними по этому предмету. Эпикуръ и Демокритъ видятъ въ теплородѣ особенное вещество, которое, по ихъ мнѣнію, есть вещество самаго огня превращенное въ атомы. Гомбергъ (Homberg), Лемри (Lemery), Сгравзандъ (Sgra-

vesand) и особенно Бергавъ (Boerhave) смотрятъ на теплородъ, какъ на вещество распространенное повсюду въ пространствѣ, въ видѣ плавающихъ частицъ, который проявляются только въ извѣстныхъ благопріятныхъ случаяхъ, напр. когда онѣ взаимно соприкасаются, какъ это бываетъ при треніи, или же когда они расположены въ видѣ лучей, двигаются другъ за другомъ и ударяютъ о тѣла, встрѣчающіяся на ихъ пути Бэконъ (Bacon), Бойль (Boyle), Декартъ (Descartes). Ньютонъ (Newton) уже не смотрятъ болѣе на теплоту, какъ на вещество, но кажется, какъ на сотрясательное движеніе частицъ тѣла.

Теорія испусканія и теорія волненій. Въ настоящее время преобладаютъ только двѣ теоріи. На основаніи одной изъ нихъ, древнѣйшей, извѣстной подъ названіемъ *теоріи испусканія*, и принятой въ-особенности химиками, жившими въ концѣ прошлаго столѣтія, теплоту приписываютъ особенному невѣсомому веществу, испускаемому нагрѣтыми тѣлами и движущемуся съ необычайною скоростью. Вещество это отражается отъ поверхности встрѣчаемыхъ имъ тѣлъ, проникаетъ внутрь оныхъ и соединяется въ различныхъ пропорціяхъ съ частицами этихъ тѣлъ. Составныя частицы этого вещества взаимно отталкиваются. Веществу этому, съ преобразованіемъ номенклатуры химіи, было дано названіе *теплорода*

На основаніи другой ипотезы, которую развили Бернулли (Bernoulli), Эйлеръ (Euler и въ-особенности Румфортъ (Rumfort), которая извѣстна подъ именемъ *теоріи волненій*, теплота не есть вещество, но только результатъ сотрясательныхъ движеній, возбужденныхъ въ эѳирѣ посредствомъ частицъ нагрѣтаго тѣла, которыя находятся сами въ сотрясеніи. Эти движенія передаются въ эѳирѣ съ необычайною скоростью и сообщаются частицамъ болѣе холодныхъ тѣлъ, которыя такимъ-образомъ въ свою очередь нагрѣваются. На основаніи этой теоріи понятно, отчего теплота не увеличиваетъ вѣса тѣлъ и почему она становится свободною, когда частицы тѣла приводятся въ сотрясеніе посредствомъ тренія или какимъ-либо другимъ способомъ Теорія эта соотвѣтствуетъ тожественной съ нею, принятой для объясненія явленій свѣта Но какъ законы распространенія теплоты тѣ же, что и для свѣта, а въ отношеніи сего послѣдняго теорія волненій должна быть предпочтена всякой другой по причинѣ совершеннаго согласія выводовъ теоріи съ результатами опытовъ, то теорія эта должна быть также принята и для объясненія явленій распространенія теплоты. Что же касается дѣйствія теплоты на тѣ-

ла, то въ этомъ отношеніи оптика не представляетъ намъ ничего подобнаго Явленія эти одинаково мало объяснены въ обѣихъ теоріяхъ, или по-крайней-мѣрѣ имѣющіяся въ нихъ объясненія требуютъ подтвержденій на опытѣ, чего однакожъ недостаетъ въ настоящее время въ наукѣ.

Изученіе явленій и законовъ теплорода можетъ быть предпринято, впрочемъ, и безъ помощи какой-либо изъ двухъ вышепоименованныхъ теорій, чему послѣдуемъ и мы Слово же теплородъ мы сохранимъ, какъ удобное для обозначенія неизвѣстной причины этихъ явленій, не соединяя однако съ его употребленіемъ понятія, что теплородъ составляетъ особое вещество. Показавъ способы измѣренія температуръ, мы займемся сперва изслѣдованіями распространенія теплоты въ пространствѣ, равно и въ самой массѣ тѣлъ; потомъ покажемъ дѣйствіе теплоты на расширеніе или измѣненіе состоянія тѣлъ и опредѣлимъ количества теплоты, необходимыя для произведенія этихъ дѣйствій, наконецъ изложимъ теорію паровъ.

§ 2. Измѣреніе температуръ.

I. О температурѣ вообще.

7. Опредѣленіе температуры. — Температуру тѣла составляетъ особенное состояніе равновѣсія, при которомъ тѣло не пріобрѣтаетъ и не теряетъ теплоты, и которому соотвѣтствуетъ извѣстный, опредѣленный объемъ этого тѣла. Температуру тѣла можно измѣнить, прибавивъ къ тѣлу или отнявъ у него извѣстное количество свободной теплоты. Температура пустаго пространства, само-по-себѣ неимѣющаго теплоты, зависитъ отъ теплорода, проходящаго чрезъ это пространство и проистекающаго отъ тѣлъ вокругъ лежащихъ; температура эта тожественна температурѣ, которую бы приняло тѣло расположенное въ этомъ пространствѣ Такимъ-образомъ температура какой-либо точки небеснаго пространства происходитъ отъ проходящей чрезъ нее теплоты, испускаемой солнцемъ и звѣздами. Если бы возможно было знать объемъ тѣла въ каждый моментъ времени, то чрезъ послѣдовательныя сравненія этихъ объемовъ даннаго тѣла, мы имѣли бы средство для опредѣленія послѣдовательныхъ измѣненій температуры тѣла; на дѣлѣ однакожъ это невозможно.

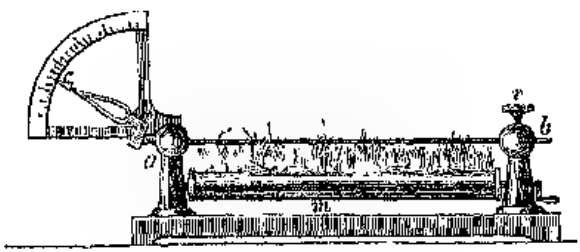
Разныя тѣла имѣютъ равную температуру, когда погруженныя въ одну и ту же средину, они не теряютъ и не пріобрѣтаютъ болѣе

теплоты. Несправедливо было бы полагать, что это равенство можетъ быть дознано посредствомъ сличенія ощущеній, испытываемыхъ рукою, прикасающеюся къ этимъ тѣламъ. Для полученія ощущенія необходимо, чтобы температуры тѣла и руки были между собою различны, при этомъ уже не существуетъ болѣе равновѣсія теплорода и произведенное дѣйствіе будетъ зависѣть отъ скорости, съ которою теплота изнутри тѣла можетъ передаваться его поверхности, а отъ сей послѣдней рукѣ, или обратно,—скорость же эта зависитъ отъ свойства вещества составляющаго тѣло.

Одинаковымъ образомъ нельзя распознавать рукою степень температуры тѣла, потому-что получаемое впечатлѣніе зависитъ отъ минутнаго состоянія этого органа, такъ-что одно и то же тѣло можетъ казаться и теплымъ и холоднымъ, смотря потому, будетъ ли рука холодна, или тепла. Продержавъ, напримѣръ, нѣкоторое время правую руку въ весьма холодной водѣ, а лѣвую въ горячей, и погрузивъ потомъ одновременно обѣ руки въ тепловатую воду, почувствуемъ въ правой рукѣ теплоту, а въ лѣвой холодъ. Слѣдовательно ощущенія тепла и холода суть только относительныя понятія, мы называемъ тѣло теплымъ, когда оно уступаетъ часть своей теплоты нашимъ органамъ и холоднымъ въ обратномъ случаѣ: это зависитъ отъ состоянія органовъ.

8. Расширеніе.—Когда нѣсколько различныхъ тѣлъ находятся въ пространствѣ, температура котораго ниже или выше температуры этихъ тѣлъ, то они послѣдніе до-тѣхъ-поръ теряютъ или пріобрѣтаютъ теплоту, пока не установится повсюду одинаковая температура. Въ то же время измѣняется и объемъ этихъ тѣлъ; онъ увеличивается съ возвышеніемъ температуры и уменьшается съ ея пониженіемъ. Увеличеніе объема посредствомъ теплоты называется *расширеніемъ*. Для доказательства расширенія металлической полоски по длинѣ употребляютъ *пиромѣтръ съ рычагомъ* или *со стрѣлкою* (фиг. 1).

фиг. 1.



поддерживаютъ двѣ подставки, сквозь вершину которыхъ пропущены ея концы, въ точкѣ *b* она неподвижно утверждена посредствомъ винта, а въ точкѣ *a* можетъ свободно двигаться. Конецъ *a* упирается

въ короткое плечо ломанаго рычага *a o c*, длинное плечо котораго двигается по дугѣ съ дѣленіями. Если зажечь спиртовую лампу *m*, расположенную подъ полоскою *ab*, то эта послѣдняя расширяется, и конецъ *a*, подвигаясь, поднимаетъ рычагъ *o c*. Полоска вновь сжимается, когда погасятъ лампу и рычагъ *o c* опускается, повинуясь собственной своей тяжести. Расширеніе жидкостей и газовъ доказывается посредствомъ трубокъ припаянныхъ къ резервуарамъ, наполненнымъ жидкостью или газомъ, какъ мы увидимъ это впослѣдствіи.

Опытъ показываетъ, что не всѣ тѣла въ одинаковой мѣрѣ измѣняются въ объемѣ, при чемъ подразумѣвается, что до начала опыта тѣла имѣли совершенно одинаковую температуру и что нагрѣваніе ихъ потомъ совершалось одинаковымъ образомъ. Такъ напримѣръ, если взять такое возвышеніе температуры, отъ котораго данный объемъ ртути увеличится на $^1/_{5550}$ часть, то та же температура увеличитъ равный объемъ мѣди на $^1/_{584}$, стекла на $^1/_{1142}$ воздуха на $^1/_{267}$

Теплоемкость. — Сверхъ того, для однообразнаго возвышенія температуры различныхъ веществъ, имѣющихъ равный вѣсъ, не требуется также одинаковыхъ *количествъ* теплоты. Напримѣръ, если погрузить въ воду кусокъ *желѣза* и кусокъ *сурьмы*, имѣющихъ равный вѣсъ и ту же температуру, низшую температуры воды, то оба тѣла будутъ нагрѣваться на счетъ теплорода содержащагося въ жидкости, которая въ свою очередь будетъ охлаждаться, и это продолжится до-тѣхъ-поръ, пока не уравняется температура всѣхъ трехъ веществъ. При этомъ желѣзо поглощаетъ $^2/_3$ теплоты потерянной водою а сурьма только $^1/_3$. Впослѣдствіи мы увидимъ, какимъ-образомъ получили эти результаты. *Теплоемкостью тѣла* называютъ количество теплоты относительно необходимое, для одинаковаго возвышенія температуры тѣлъ имѣющихъ одинъ и тотъ же вѣсъ. Тѣла имѣющія одинаковую температуру, можно сравнить съ сосудами наполненными до одинаковой высоты жидкостью; сосуды эти могутъ содержать весьма различныя количества жидкости, и для одинаковаго возвышенія уровня въ этихъ сосудахъ, необходимо будетъ каждый изъ нихъ дополнить количествомъ соотвѣтствующимъ относительной величинѣ ихъ діаметровъ.

9. Измѣреніе температуры тѣлъ. — Для измѣренія температуры тѣлъ пользуются дѣйствіями, производимыми теплотою на тѣла. Самое обыкновенное изъ этихъ дѣйствій есть расширеніе, которое въ то же время удобнѣе другихъ можетъ быть наблюдаемо. По этой

причинѣ устройство большей части приборовъ, служащихъ для измѣренія температуръ, основано на этомъ явленіи. Твердыя тѣла расширяются весьма мало: они употребляются только для опредѣленія весьма значительныхъ измѣненій температуры. Газы, напротивъ, значительно расширяются, что требуетъ приборовъ большихъ размѣровъ, неудобныхъ для употребленія, вслѣдствіе чего газами пользуются только для слабыхъ измѣненій температуры Однакожь они служатъ также и для измѣренія весьма высокихъ температуръ, потому-что газы не переходятъ болѣе въ другое состояніе. Для умѣренныхъ температуръ употребляются жидкости, которыя расширяются больше твердыхъ тѣлъ и притомъ подвижность ихъ съ удобствомъ примѣняется къ измѣренію измѣненій объема.

10. Термометръ. — Приборы, служащіе для измѣренія температуръ, называются *термометрами.* Термометръ съ жидкостью состоитъ изъ стекляннаго резервуара, къ которому придѣлана волосная трубка; жидкость наполняетъ резервуаръ и часть трубки. Все увеличеніе объема жидкости, при расширеніи оной, обнаруживается въ трубкѣ термометра и уровень въ трубкѣ возвышается тѣмъ быстрѣе, чѣмъ меньшій діаметръ оной относительно емкости резервуара Дѣленія, сдѣланныя на трубкѣ, служатъ для показанія измѣненій въ положеніи уровня

Для опредѣленія температуры какой-либо средины посредствомъ этого прибора, его погружаютъ въ эту средину, гдѣ и оставляютъ до-тѣхъ-поръ, пока уровень термометра не сдѣлается постояннымъ Температура, которую тогда покажетъ термометръ и есть искомая температура этой средины, равно и всѣхъ тѣлъ въ ней находящихся Относительно же твердаго тѣла поступаютъ такимъ-образомъ, что въ немъ сперва дѣлаютъ углубленіе, которое наполняютъ ртутью, а въ эту послѣднюю погружаютъ термометръ.

При такомъ образѣ дѣйствія встрѣчается однакожь неточность, происходящая оттого, что температура термометра обыкновенно бываетъ различна отъ температуры тѣла и слѣдовательно тѣло пріобрѣтаетъ или теряетъ нѣкоторую часть теплоты; термометръ же показываетъ температуру установившуюся послѣ этого размѣна. Но если во время размѣна температура тѣла возстановляется сама собою, то неточности этой не существуетъ. Во всѣхъ же другихъ случаяхъ слѣдуетъ употреблять термометры, масса которыхъ была бы ничтожна или, по-крайней-мѣрѣ, весьма мала въ сравненіи съ массою тѣла,

что обыкновенно и дѣлается. Въ противномъ случаѣ дѣлаютъ поправку, о которой будетъ объяснено ниже.

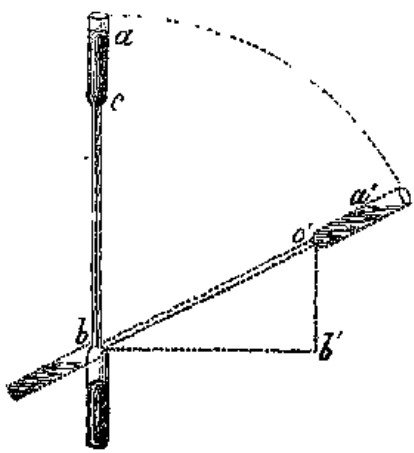
Жидкости, употребляемыя обыкновенно для устройства термометровъ, суть ртуть и алкоголь.

II. О термометрѣ.

1. Устройство ртутнаго термометра — Для устройства ртутнаго термометра выбираютъ волосную трубку съ совершенно правильнымъ цилиндрическимъ каналомъ, что можно узнать пропуская чрезъ каналъ маленькій столбикъ ртути, длина котораго должна быть одинаковая на всемъ протяженіи трубки. Въ концѣ трубки выдуваютъ шарикъ или, помощью паяльной трубки, припаиваютъ цилиндрическій стеклянный резервуаръ.

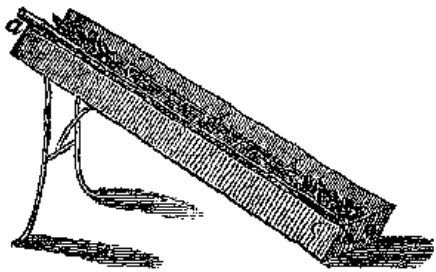
Для наполненія этого резервуара ртутью, употребляются особенные пріемы, потому-что воздухъ наполняющій волосной каналъ трубки, сопротивляется проникаанію туда ртути. Къ концу c трубки (фиг. 2) припаиваютъ болѣе широкую трубку ac, служащую воронкою, и наливаютъ въ нее хорошо очищенную ртуть, давъ сперва снаряду вертикальное положеніе, — воздухъ заключающійся въ трубкѣ, уступаетъ дѣйствію атмосфернаго давленія, увеличеннаго на все количество и ртуть проникаетъ въ трубку вѣса ртутнаго столба ac до b потомъ спадаетъ въ резервуаръ до-тѣхъ-поръ, пока находящіяся въ немъ воздухъ не достигнетъ, вслѣдствіе уменьшенія своего объема, упругости равной атмосферному давленіе съ прибавленнымъ къ нему вѣсомъ ртутнаго столба ab. Тогда даютъ трубкѣ наклонное положеніе ba' отчего заключающійся въ резервуарѣ воздухъ, испытывая сверхъ атмосфернаго давленія только еще давленіе столба ровнаго $c\,b'$, вытѣснитъ ртуть до c' и частію выйдетъ наружу чрезъ ртуть $c'\,a'$. По приведеніи трубки вновь въ вертикальное положеніе, воздухъ въ ней находящійся опять уступаетъ увеличившемуся давленію, вслѣдствіе чего еще нѣкоторая часть ртути проникнетъ въ снарядъ. Потомъ

Фиг. 2.



вторично наклоняютъ трубку и вновь выпускаютъ нѣкоторое количество воздуха Продолжая дѣйствовать такимъ-образомъ, наполняютъ почти совершенно резервуаръ ртутью, но не совсѣмъ, потому-что остающаяся напослѣдокъ значительная часть воздуха не бываетъ уже въ состояніи вытѣснить ртуть до *c'*, потому что при этомъ увеличение объема воздуха въ самой трубкѣ сдѣлалось бы слишкомъ большимъ. Поэтому для окончательнаго наполненія термометра, подвергаютъ ртуть кипѣнію. Снарядъ кладутъ на желѣзную решетку *a* (фиг 3), имѣющую наклонное положение и подъ резервуаромъ помѣщаютъ раскаленный уголь и нѣсколько спаго также подъ воронку *a* Ртуть вскорѣ начинаетъ кипѣть и пары оной увлекаютъ воздухъ и влагу. При охлаждении снаряда горячая ртуть воронки, повинуясь атмосферному давленію, наполняетъ совершенно снарядъ въ которомъ между-тѣмъ уже сгустились пары ртути. Такимъ-образомъ внутренность трубки очищается отъ воздуха и сырости, приставшей къ стѣнкамъ трубки

фиг 3.



Наполнивъ наконецъ термометръ, надлежитъ соразмѣрить его ходъ, т.-е выпустить изъ трубки нѣкоторую часть ртути, такъ, чтобы ее уровень могъ измѣняться въ извѣстныхъ предѣлахъ, не достигая вершины трубки, а равно начала резервуара. Для этого нагрѣваютъ резервуаръ и выгоняютъ столько ртути, сколько этого приблизительно потребуется. Послѣ этого запаиваютъ отверстіе трубки, при чемъ наблюдается, чтобы въ ней вовсе не оставалось воздуха, который, съ одной стороны, при сильномъ сотрясении прибора можетъ причинить раздробленіе ртутнаго столба на части *), съ другой же нарушить вѣрность показаній термометра, потому-что при достиженіи ртутнымъ столбомъ верхней части трубки, сильно сжатый воздухъ, противодѣйствуя, вслѣдствіе своей упругости, расширить стѣнки резервуара Чтобы запаять отверстіе трубки, не оставляя въ ней вовсе

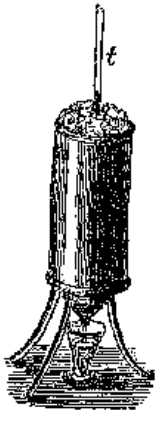
*) Если бы это случилось, то привязавъ термометръ къ шнурку, сообщаютъ термометру быстрое вращательное движеніе подобно пращѣ. Центробѣжная сила заставляетъ ртуть стремиться въ резервуаръ, а воздухъ, раздѣляющій столбики ртути, помѣщается въ противоположный конецъ трубки.

воздуха, вытягиваютъ верхнюю часть оной посредствомъ паяльной трубки, и, нагрѣвая резервуаръ, доводятъ ртуть до этой вытянутой оконечности; потомъ направляя, помощью паяльной трубки, пламя свѣчи на эту оконечность, размягчаютъ стекло и запаиваютъ отверстіе Иногда выдуваютъ подъ заостреннымъ концомъ трубки маленькій резервуаръ, куда переходитъ ртуть въ случаѣ слишкомъ высокой температуры, что предохраняетъ снарядъ отъ взрыва; при этомъ устройствѣ оставляютъ иногда надъ уровнемъ ртути нѣкоторую часть воздуха.

12. Раздѣленіе термометра на градусы.— По совершеніи всего вышесказаннаго, остается еще означить вдоль трубки дѣленія, которыя бы показывали различныя положенія уровня, а для того, чтобы всѣ термометры могли быть сравниваемы между собою, надобно эти дѣленія на градусы производить по опредѣленнымъ правиламъ. Для этого берутъ двѣ постоянныя температуры, которыя отмѣчаютъ на трубкѣ термометра и промежутокъ между этими двумя точками дѣлятъ на опредѣленное число равныхъ частей. Эти двѣ постоянныя температуры суть температура тающаго льда и температура кипящей воды

Температура тающаго льда Флорентинскіе академики нашли, что ледъ сохраняетъ во время таянія постоянную температуру, въ чемъ можно убѣдиться, погружая въ тающій ледъ термометръ, уровень котораго останется постоянно на той же точкѣ, при какихъ бы обстоятельствахъ ни производился опытъ, лишь бы ледъ былъ совершенно чистый. Чтобы назначить на термометрѣ точку тающаго льда, берутъ сосудъ такой глубины, что ледъ совершенно покрывалъ термометръ (Фиг. 4) Ледъ долженъ быть истолченъ какъ можно мельче, такъ чтобы вода, происходящая отъ таянія, наполняла всѣ промежутки между кусочками, и такимъ-образомъ термометръ находился бы повсюду въ соприкосновеніи съ срединою, имѣющою искомую температуру *). Но какъ вода, образовавшаяся вслѣдствіе таянія льда, могла бы наконецъ пріобрѣсть болѣе высокую температуру, то въ избѣжаніе этого снабжаютъ дно сосуда отверстіемъ, чрезъ которое стекаетъ вода по мѣрѣ накопленія. Наконецъ, когда

Фиг. 4.



* У насъ толченый ледъ замѣняется снѣгомъ. *Замѣч. перев.*

уровень ртути сдѣлается постояннымъ, отмѣчаютъ его на трубкѣ, для чего сію послѣднюю на столько приподнимаютъ, чтобы обнажить нѣкоторую часть ртутнаго столба, и наблюдаютъ, чтобы глазъ и вершина ртутнаго столба находились въ совершенно горизонтальномъ направленіи, для избѣжанія неточности могущей произойти отъ толщины стѣнокъ трубки. Для этого употребляютъ *катетометръ*, или же подвижную зрительную трубочку на подставкѣ устроенной подобно катетометру. Употребляютъ также подвижное кольцо, которое надѣваютъ на термометрическую трубку и наблюдаютъ, чтобы край его казался касательнымъ къ мениску вершины ртутнаго столба.

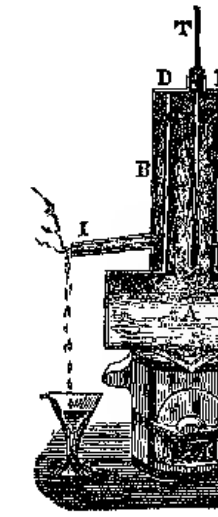
Точка кипѣнія воды. Для полученія другой постоянной точки, пользуются открытіемъ Амонтона (Amontons) — сдѣланнымъ, какъ кажется, въ одно и то же время падуанскимъ физикомъ Ренальдини (Renaldini), и состоящимъ въ томъ, что температура кипящей воды не измѣняется, какъ бы сильно ни было кипѣніе. Температура эта однакожь можетъ измѣняться съ каждымъ опытомъ, будучи въ зависимости отъ атмосфернаго давленія, съ увеличеніемъ котораго увеличивается и самая температура. Во Франціи за постоянную точку принимаютъ температуру кипящей воды при $0,^{m}76$ давленія; въ Англіи и Россіи принимаютъ температуру кипѣнія при давленіи 30″ англ. Гэ-Люссакъ (Gay-Lussac) кромѣ-того еще нашелъ, что и самое вещество изъ котораго сдѣланъ сосудъ, также имѣетъ нѣкоторое вліяніе на температуру кипящей воды, напримѣръ въ стеклянномъ сосудѣ эта температура выше нежели въ металлическомъ; по этому для назначенія постоянной точки принято, употреблять исключительно сосудъ металлическій. Для этой цѣли берутъ небольшой мѣдный котелъ *n n* (фиг. 5), наполненный перегнанной водой и закрытый крышкою съ металлическою трубою. Труба эта составлена изъ нѣсколькихъ частей, которыя можно отдѣлять или присоединять одну къ другой, смотря по длинѣ термометра; въ концѣ трубки находятся двѣ боковыя трубочки для свободнаго выпуска паровъ. Термометръ *T* поддерживается пробкою, непозволяющею термометру слишкомъ глубоко погружаться въ воду, такъ-какъ на днѣ сосуда, по причинѣ тяжести воды, давленіе бываетъ больше нежели близъ по-

фиг. 5.

верхности, а мы уже видѣли, что съ увеличеніемъ давленія увеличивается и температура кипѣнія. Остальная часть термометра окружена парами, имѣющими ту же температуру, какъ и кипятокъ. Приподнимая отъ времени до времени термометръ, свободно движущійся въ пробкѣ, убѣждаются вскорѣ, что уровень ртути болѣе не измѣняется и выждавъ, для большей вѣрности, еще четверть часа, отмѣчаютъ точку на которой остановился уровень ртути, употребляя при этомъ тѣ же предосторожности, какъ и для назначенія точки тающаго льда

Снарядъ (фиг. 5) не даетъ однако совершенно точныхъ выводовъ; вслѣдствіе прикосновенія наружнаго воздуха температура цилиндра бываетъ ниже температуры пара и, слѣдовательно, термометръ лучеиспускаетъ теплоту къ стѣнкамъ цилиндра, отчего температура термометра становится нѣсколько ниже температуры пара. Для устраненія этой причины неточности, Реньо (Regnault) употребляетъ снарядъ (фиг 6), снабженный еще второю оболочкою *BC*, сквозь которую долженъ проходить паръ до освобожденія его наружу при *F*. А чтобы убѣдиться, что паръ постоянно имѣетъ тоже давленіе, какъ и наружный воздухъ, употребляютъ манометръ *F*. При употребленіи способа Реньо резервуаръ термометра не касается кипящей воды, но весь термометръ окруженъ парами, какъ это видно на фиг. При такомъ расположеніи термометра, точка кипѣнія не зависитъ ни отъ вещества сосуда, ни отъ большей или меньшей чистоты воды

фиг. 6.



Назначивъ на термометрѣ постоянныя точки, дѣлятъ оставшійся между ними промежутокъ на сто частей равнаго объема, которыхъ длина также будетъ одна и та же, если каналъ трубки имѣетъ повсюду одинаковый діаметръ. При точкѣ таянія льда ставятъ 0, а при точкѣ кипѣнія воды 100. Такія же дѣленія откладываютъ выше 100 и ниже 0 обозначая ихъ вверхъ и внизъ числами въ восходящемъ порядкѣ цыфръ Устроенная такимъ-образомъ термометрическая скала носитъ названіе *стоградусной* или скалы Цельсія.

13. Исправленіе точки кипѣнія. - Если во время произведенія опыта, для назначенія точки кипѣнія, атмосферное давленіе было бо-

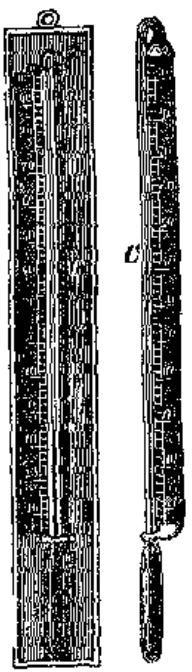
лѣе или менѣе 0^m, 76, то происходящую вслѣдствіе этого неточность исправляютъ по способу, указанному Фаренгейтомъ (Fahrenheit). Уольстонъ (Wollaston) нашелъ изъ опыта, что разность въ 27 миллиметрахъ давленія выше или ниже 760^{mm} возвышаетъ или понижаетъ температуру кипящей воды на 1° стоградусной скалы и можно допустить, что вліяніе менѣе значительныхъ измѣненій атмосфернаго давленія будетъ пропорціонально вышеозначенному. Полагая такимъ-образомъ атмосферное давленіе равнымъ $760^{mm} \pm n$, получимъ.

$$27 : n = 1 : r$$

т.-е. вмѣсто-того, чтобы промежутокъ между постоянными точками дѣлить на 100 равныхъ частей, слѣдуетъ дѣлить оный на $100 \pm r$, или на $100 \pm \frac{n}{27}$.

14. Градусъ температуры. — Каждое изъ дѣленій стоградусной скалы называется: *градусомъ стоградуснаго термометра* и составляетъ *единицу температуры*. Единицею температуры, слѣдственно, принимается сотая часть расширенія ртути *въ стеклѣ*, начиная отъ температуры тающаго льда до температуры кипѣнія воды. Опредѣленныя такимъ-образомъ температуры не составляютъ понятій безусловныхъ, это ни что иное какъ разности, ибо исходная точка сравненія избирается произвольно. Поэтому говоря о температурѣ, неправильно было бы называть ее вдвое или втрое болѣе другой; тѣмъ не менѣе однако это встрѣчается довольно часто, но всегда надобно помнить, что это не значитъ, что тѣло содержитъ вдвое или втрое болѣе теплоты. Термометрическая скала назначается на стеклянной, деревянной или металлической пластинкѣ, къ которой прикрѣпляютъ трубку T (фиг. 7), или же скалу назначаютъ на бумажной полосѣ заключенной въ широкую стеклянную трубку, придѣланную къ термометру C; термометръ съ такою скалою употребляется преимущественно для жидкостей. Скала точныхъ термометровъ обыкновенно назначается на самой трубкѣ снаряда. Температуры ниже 0 обозначаютъ знакомъ (—), который ставится передъ цыфрою дѣленія.

Фиг. 7.



15. Различныя термометрическія скалы. — Стоградусная скала введена Цельсіемъ (Celsius); кромѣ нея приняты еще другія; наиболѣе употребитель-

ныя изъ нихъ мы здѣсь разсмотримъ. Въ скалѣ Реомюра (Réaumur) промежутокъ между постоянными точками раздѣленъ на 80 частей, такъ-что градусы этого термометра больше стоградусныхъ. Въ Англіи употребляютъ *скалу Фаренгейта* (Fahrenheit), гдѣ промежутокъ между постоянными точками раздѣленъ на 180 частей; дѣленія эти идутъ и ниже точки тающаго льда и на 32 дѣленіи ставятъ °. Такимъ-образомъ при точкѣ таянія льда находится 32°, при точкѣ кипѣнія 32° + 180 = 212°. Фаренгейтъ взялъ эту исходную точку потому, что она соотвѣтствовала наибольшему холоду замѣченному имъ въ Данцигѣ *). Есть еще четвертая скала, изобрѣтенная Делилемъ (Delisle). Делиль дѣлитъ промежутокъ между постоянными точками на 150 частей и ставитъ *0* въ точкѣ кипѣнія воды, а 150 въ точкѣ таянія льда.

Изъ вышесказаннаго видно, что при обозначеніи температуры необходимо указывать на скалу, по которой была взята температура. Во Франціи стоградусная скала принята преимущественно для ученыхъ изслѣдованій; эта же скала принята для обозначенія всѣхъ температуръ въ курсѣ этого сочиненія **). Впрочемъ нѣтъ никакого затрудненія температуру, означенную по одной изъ этихъ скалъ, выразить въ соотвѣтствующихъ градусахъ другой скалы. Пусть *C* и *R* будутъ числа, соотвѣтствующія *стоградусной* и *Реомюровой* скаламъ, получимъ:

$$100 : 80 = C : R, \text{ откуда } C = R . \frac{5}{4} \text{ и } R = C . \frac{4}{5}.$$

Имѣя *F* градусовъ *Фаренгейтовой* скалы надобно сперва, для полученія исходной точки, вычесть 32°, и чтобы выразить *F* въ градусахъ стоградусной и Реомюровой скалы, получимъ:

$$F - 32 . C = 180 : 100, \text{ откуда } C = (F - 32) . \frac{5}{9} \text{ и } F = C . \frac{9}{5} + 32$$

$$\text{и } F - 32 . R = 180 . 80, \text{ откуда } R = (F - 32) . \frac{4}{9} \text{ и } F = R . \frac{9}{4} + 32$$

Вторыя формулы показываютъ какимъ-образомъ можно перейти отъ градусовъ стоградуснаго или Реомюрова термометра, къ градусамъ

---

*) Фаренгейтъ опредѣлялъ исходную точку посредствомъ смѣси льда съ нашатырною солью и только впослѣдствіи было найдено, что 32 его скалы соотвѣтствуютъ температурѣ тающаго льда.

**) Такъ-какъ въ Россіи преимущественно употребительна скала Реомюра, то въ скобкахъ будутъ прибавлены градусы по этой скалѣ. *Зам. Пер.*

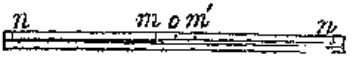
Фаренгейта, мы видимъ, что, сообразуясь съ особенною исходною точкою Фаренгейта, надлежитъ къ полученному числу добавить 32°.

Наконецъ пусть D число градусовъ по скалѣ Делиля; число это замѣняютъ числомъ 150—D для полученія той же исходной точки, какъ и для стоградусной скалы; число соотвѣтствующихъ градусовъ по Цельсію будетъ $C=(150-D)\frac{15}{10}$

Равнымъ образомъ получаютъ число 150—D изъ числа C, а потомъ уже число D, вычитая изъ 150

16. Точный термометръ. — *Раздѣленіе трубокъ.* Чтобы приготовить точный термометръ, должно при раздѣленіи трубки на части равныхъ объемовъ соблюдать большую предосторожность. Выбравъ трубку по-возможности съ правильнымъ цилиндрическимъ внутреннимъ отверстіемъ, вводятъ въ нее столбикъ ртути $m\,n$ (фиг 8) и означаютъ на трубкѣ концы его m и n; потомъ передвигаютъ его въ $m'\,n'$ и замѣчаютъ точки m' и n'. Объемы, заключенные въ длинахъ mn и $m'n'$, очевидно равны Теперь, если столбикъ ртути былъ такой длины, чтобы разстояніе mm' было очень мало, то на это разстояніе можно будетъ считать трубку совершенно цилиндрическою. Длину $m\,m'$ дѣлятъ потомъ на двѣ равныя части, тогда точка дѣленія o раздѣлитъ пространство $n\,n'$ также на двѣ части равныя по объему Подобнымъ образомъ раздѣляютъ каждую половину on, on' на двѣ равныя части, и такъ далѣе до-тѣхъ-поръ пока получатъ дѣленія достаточно малыя для того, чтобъ ихъ возможно было раздѣлить на двѣ равныя длины, соотвѣтствующія въ то же время равнымъ объемамъ. Это способъ Гэ-Люссака (Gay-Lussac). Депрэ (Despretz) предложилъ другой способъ, состоящій въ слѣдующемъ: приводятъ въ движеніе небольшой столбикъ ртути въ трубкѣ такимъ образомъ, чтобы его правый конецъ переходилъ на мѣсто, которое занималъ лѣвый и замѣчаютъ оконечности при всѣхъ положеніяхъ столбика. Чтобы привести въ движеніе столбикъ ртути, трубку встряхиваютъ, или же къ одному изъ концовъ трубки привязываютъ пузырь, и, сжимая его болѣе или менѣе, передвигаютъ ртуть.

фиг. 8.



Реньо (Regnault) сдѣлалъ въ этомъ способѣ усовершенствованія, во многомъ увеличивающія степень точности дѣленій *: трубка тща-

*) Способъ приготовленія термометровъ, которому слѣдуетъ Реньо, помѣщенъ Пьерромъ въ особомъ примѣчаніи въ Annales de chimie et de physique 3-e série, t. V, p. 428.

тельно выбранная и совершенно чистая внутри *), кладется на дѣлительную машину такимъ-образомъ, чтобъ ея ось была совершенно параллельна той, по которой двигается рѣзецъ. Небольшой микроскопъ съ микрометромъ, утвержденный къ тележкѣ съ рѣзцомъ или съ чертильною иголкою, служитъ для опредѣленія съ точностью оконечностей ртутнаго столбика, находящагося въ трубкѣ. Въ моментъ наблюденія оконечностей ртутнаго столбика, замѣчаютъ положеніе головки винта самыя же оконечности обозначаютъ весьма тонкой кисточкой. Потомъ столбикъ ртути переводятъ такимъ-образомъ, чтобы правый конецъ совпадалъ съ прежней точкой лѣваго конца и на обѣ оконечности столбика наводятъ микроскопъ, передвигаемый съ одной оконечности до другой посредствомъ винта. Оконечности отмѣчаютъ черточкой на трубкѣ и замѣчаютъ число оборотовъ винта; подобнымъ образомъ поступаютъ до-тѣхъ-поръ, пока не раздѣлятъ всей трубки Потомъ трубку покрываютъ совершенно прозрачнымъ лакомъ, длятого чтобы лакъ не закрывалъ дѣленій сдѣланныхъ кисточкой и промежутки между черточками дѣлятъ на опредѣленное число равныхъ частей. Для этого чертильную иголку переносятъ на какую-либо изъ черточекъ и приводятъ головку винта въ положеніе, въ которомъ она находилась при назначеніи этой черточки, что возможно, ибо положеніе это, какъ мы видѣли выше, было замѣчено. Черточки сдѣланныя кисточкой, служатъ только длятого, чтобы легче было находить предѣлы выше опредѣленныхъ промежутковъ равной емкости. Чертильная иголка назначаетъ на лакѣ дѣленія, а цыфры для счета этихъ дѣленій намѣчаются остріемъ; послѣ чего трубку опускаютъ въ свинцовую ванну, наполненную парами фтористоводородной кислоты. Пары эти имѣютъ свойство разъѣдать стекло, такъ, что вездѣ гдѣ лакъ былъ прочерченъ, стекло разъѣдается и всѣ дѣленія, сдѣланныя чертильною иголкою, воспроизводятся на стеклѣ Дѣленія повѣряютъ, передвигая въ трубкѣ столбикъ ртути, который повсюду долженъ занимать то же число дѣленій, если раздѣленіе сдѣлано точно

Емкость резервуара. На концѣ раздѣленной трубки выдуваютъ шарикъ или припаиваютъ цилиндрическій резервуаръ, размѣры котораго должны быть опредѣлены такимъ-образомъ, чтобъ трубка заклю-

---

*) Когда трубка не очень тонка, то въ нее впускаютъ крѣпкой азотной кислоты, а потомъ промываютъ перегнанной водою; операція эта становится трудною, когда трубка имѣетъ очень узкое отверстіе

чала въ себѣ желаемое число градусовъ. Чтобъ сдѣлать такое опредѣленіе, должно предварительно знать расширеніе ртути, содержащейся въ стеклянномъ сосудѣ Расширеніе это составляетъ $\frac{1}{6480}$ объема ртути при 0°, для каждаго градуснаго дѣленія стоградуснаго термометра. Мы тотчасъ покажемъ, какимъ-образомъ получается этотъ выводъ. На основаніи этой данной опредѣляютъ объемъ этого дѣленія трубки, или, что все-равно, находятъ вѣсъ ртути, заключенной въ одномъ дѣленіи. Для этого сперва взвѣшиваютъ пустую трубку а потомъ впускаютъ столбикъ ртути соотвѣтствующій n дѣленіямъ и снова взвѣшиваютъ. Взявъ разность обоихъ взвѣшиваній получаютъ вѣсъ p одной ртути, тогда $\frac{p}{n}$ будетъ вѣсъ ртути находящейся въ одномъ дѣленіи. Положимъ, требуется опредѣлить объемъ резервуара такъ, чтобы при температурѣ 100° ртуть занимала N дѣленій: ртуть, которая наполнитъ N дѣленій, будетъ вѣсить $N\frac{p}{n}$, а объемъ, который она займетъ, выразится чрезъ $N\frac{p}{nd}$, гдѣ d означаетъ удѣльный вѣсъ ртути при температурѣ ртути во время опыта Объемъ этотъ представитъ увеличеніе ртути, находящейся въ резервуарѣ, при измѣненіи температуры отъ 0° до 100°. Назовемъ этотъ искомый объемъ чрезъ V, его расширеніе отъ 0° до 100° будетъ $V.\ 100\frac{1}{6480}$. Слѣдовательно мы имѣемъ

$$\frac{V\,100}{6480} = \frac{Np}{nd} \text{ откуда } V = \frac{Np}{100\,dn}\,6480.$$

Если резервуаръ сферическій, то $V = \frac{1}{6}\pi D^3$, откуда находятъ величину діаметра D, если же резервуаръ цилиндрическій то $V = \frac{1}{4}\pi D^2 h$, а отсюда приблизительно опредѣляютъ его длину h, взявъ діаметръ D произвольнымъ.

Дѣленія термометра, такимъ-образомъ приготовленнаго, не представляютъ прямо градусовъ, но всегда возможно показанія этой произвольной скалы перевести на скалу стоградуснаго термометра по способу нами указанному (15) Для этого достаточно знать, сколько произвольныхъ дѣленій заключается между постоянными точками. Обыкновенно составляются таблицы, въ которыхъ эти вычисленія сдѣланы заранѣе для каждаго дѣленія.

Дѣленія точнаго термометра назначаются на самой трубкѣ. Одинъ изъ таковыхъ термометровъ представленъ на фиг 9-й. Чтобъ устранить дѣйствія параллакса, зависящаго отъ толщины трубки, должно во время наблюденій употреблять небольшую зрительную трубу

направленную перпендикулярно къ термометрической трубкѣ и двигающуюся по вертикальному стержню. Для той же цѣли употребляютъ катетометръ и помощію его верньера отсчитываютъ части дѣленій трубки. Существуютъ термометры, на которыхъ катетометромъ отсчитываютъ сотыя доли градуса. Помощію трубы можно дѣлать наблюденія издали и тогда результаты получаются болѣе вѣрные, потому-что въ этомъ случаѣ устраняется вліяніе наблюдателя на температуру термометра.

17. Раздѣленіе на градусы посредствомъ сравненія. — Когда приготовленъ хорошій нормальный термометръ, то чрезъ сравненіе съ нимъ можно раздѣлять на градусы другіе термометры.

Фиг. 9.

Для этого нормальный термометръ и приборъ, назначенный для раздѣленія, опускаютъ въ одну и ту же ванну, температуру которой постепенно измѣняютъ, наблюдая при томъ, чтобъ она оставалась постоянно впродолженіи нѣкотораго времени, и на сравниваемомъ термометрѣ возлѣ уровня ртути назначаютъ то число градусовъ, какое показываетъ нормальный термометръ. Когда такимъ-образомъ получены нѣсколько довольно близкихъ точекъ, то промежутки между ними дѣлятъ на равныя части. Въ особенности этимъ способомъ пользуются, когда хотятъ имѣть короткіе термометры, заключающіе въ себѣ небольшое число градусовъ, которымъ тогда можно было дать бо́льшую длину, чтобы легче было отсчитывать малѣйшія части дѣленій.

Въ практикѣ представляется большое затрудненіе сохранять въ ваннѣ постоянную, равномѣрную температуру, особенно когда она значительно превышаетъ температуру внѣшняго воздуха; тогда почти невозможно достигнуть строгой неизмѣняемости температуры, несмотря на всѣ предосторожности, какъ-то, мѣшая жидкость или окружая сосудъ худыми проводниками, для воспрепятствованія охлажденія, или же вознаграждая неизбѣжное охлажденіе посредствомъ спиртовой лампы, которую располагаютъ подъ сосудомъ въ приличномъ разстояніи. Изъ всего сказаннаго видно, что желая имѣть точный термометръ, должно дѣлить его на градусы непосредственно.

18. Измѣреніе расширенія ртути въ стеклянномъ сосудѣ. — Укажемъ теперь какимъ-образомъ измѣряется расширеніе ртути въ стеклянной трубкѣ и получается то число, на которомъ мы основывали опредѣленіе размѣренія резервуара. Для этого употребляютъ тер-

кометрическую трубку съ резервуаромъ, раздѣленную на части равныхъ объемовъ и вычисляютъ отношеніе объема резервуара къ объему одного изъ дѣленій трубки. Потомъ поступаютъ какъ при приготовленіи термометра, т.-е. приборъ наполняютъ ртутью и назначаютъ на немъ постоянныя точки. Число дѣленій, заключенныхъ между этими двумя точками, даетъ число единицъ объема, на которыя расширится ртуть отъ 0° до 100°. Напримѣръ пусть это число есть n, а N представляетъ число дѣленій, соотвѣтствующихъ объему резервуара, считая его до точки 0, то расширеніе ртути, соотвѣтствующее единицѣ объема, выразится чрезъ $\frac{n}{N}$, а для увеличенія температуры на одинъ градусъ, получимъ $\frac{n}{100.N}$. Это именно и есть та величина, которая найдена $=\frac{1}{6480}$.

Вѣсовой термометръ.—Можно получить тотъ же результатъ посредствомъ небольшаго прибора безъ дѣленій, который въ то же время можетъ замѣнить обыкновенный термометръ; его называютъ *вѣсовымъ термометромъ*. Онъ состоитъ (фиг. 10 изъ резервуара r, оканчивающагося волосной трубкой загнутой въ видѣ крючка o.

фиг. 10.

Взвѣсивъ пустой приборъ, наполняютъ его ртутью, очищенною перегонкой, и погружаютъ въ тающій ледъ, а конецъ o въ чистую и сухую ртуть, находящуюся въ сосудѣ c. Такимъ-образомъ приборъ будетъ наполненъ ртутью при температурѣ 0°. Послѣ того приборъ опять взвѣшиваютъ, положимъ, что P вѣсъ одной ртути, потомъ его погружаютъ въ жидкость, температура t которой извѣстна, и собираютъ всю ртуть вытѣсненную изъ прибора дѣйствіемъ расширенія. Пусть p вѣсъ ртути вытѣсненной изъ прибора, то $P-p$ будетъ вѣсъ ртути, оставшейся въ приборѣ послѣ погруженія его въ жидкость. Если теперь охладить оставшуюся въ приборѣ ртуть до 0°, то надъ нею останется пустота on, объемъ которой выразитъ сжатіе ртути въ трубкѣ при охлажденіи отъ $t°$ до $0°$, или что всеравно, расширеніе первой отъ $0°$ до $t°$. А какъ всѣ объемы были приведены къ $0°$, то они могутъ быть выражены соотвѣтствующимъ вѣсомъ ртути, занимающей эти объемы. Слѣдовательно p представ-

ляетъ расширеніе въ стеклѣ объема $P-p$ для t°, а $\frac{p}{(P-p)t}$ таковое же расширеніе для единицы объема и для 1°. Такимъ-образомъ нашли

$$\frac{p}{(P-p)t} = \frac{1}{6480}$$

Изъ этого видно, что если расширеніе въ трубкѣ извѣстно, то изъ предъидущаго уравненія можно опредѣлить t, полагая его неизвѣстнымъ. Вѣсовой термометръ, изобрѣтенный Дюлонгомъ и Пти, можетъ, при помощи чувствительныхъ вѣсовъ, замѣнить обыкновенный термометръ. Его употребленіе основано на численномъ коэффиціентѣ, величина котораго должна быть отдѣльно опредѣлена для каждаго прибора, по причинѣ вліянія расширенія стекла на показанія термометра. Разсмотримъ это вліяніе.

19. Вліяніе стекла на показанія термометровъ. — Показанія термометровъ зависятъ нетолько отъ расширенія одной ртути, но и отъ расширенія трубки. Различнаго рода стекло расширяется не одинаково и расширеніе это происходитъ не по одному и тому же закону. Поэтому различные термометры, тщательно приготовленные, могутъ быть не согласны между собою, особенно для высокихъ температуръ. Реньо первый обратилъ вниманіе на это важное обстоятельство и получилъ слѣдующіе результаты изъ наблюденій надъ двумя термометрами, стекляннымъ и хрустальнымъ:

Терм. хрус.	0°	100°	191,66	254,57	282,50	315,28	340,07
Терм. стекл	0°	100°	190,51	251,87	279,08	310,69	333,72
Разности . .	0	0	1,15	2,70	3,42	4,59	6,35,

Изъ этого видно, что до 100° оба термометра согласны, и что разности возрастаютъ вмѣстѣ съ температурою. Пьеръ (Pierre) нашелъ, что разности обнаруживаются ниже 100°: такъ напримѣръ термометръ съ хрустальнымъ резервуаромъ всегда показывалъ нѣсколько сотыхъ градуса больше термометра со стекляннымъ резервуаромъ. Разности эти не могутъ быть приписаны ошибкамъ въ дѣленіи, ибо при перемѣнѣ трубки получается тотъ же результатъ—термометръ съ хрустальнымъ резервуаромъ всегда показываетъ высшую температуру. Чтобы термометры были согласны, необходимо, на сколько это возможно, выбрать трубки изъ того же стекла.

20. Перемѣщеніе точки нуля. — Если погрузить въ тающій ледъ термометръ давно приготовленный, то уровень ртути будетъ немного выше нуля; эта разность можетъ простираться до 2° Ц.

Беллани (Bellani) въ Италіи и Флюжергъ (Flaugergues) во Франціи несомнѣннымъ образомъ доказали это около 1823 г.; до того времени это различіе въ положеніи точки нуля принимали за ошибку въ дѣленіи. Впослѣдствіи различіе это приписывали атмосферному давленію, которое, дѣйствуя на резервуаръ только снаружи, сдавливаетъ его и чрезъ то, современемъ, замѣтно уменьшаетъ его объемъ. Но даже если оставить трубку открытою, то результатъ остается тотъ же самый. Настоящимъ образомъ объяснилъ это явленіе Леграпъ (Legrand), онъ приписалъ его *закалкѣ* стекла, происходящей отъ быстраго охлажденія стекла послѣ нагрѣванія до температуры кипѣнія ртути. Закалка эта увеличиваетъ объемъ резервуара, а потомъ внутреннее, исподволь происходящее, перемѣщеніе частицъ незамѣтно уменьшаетъ этотъ объемъ. Леграпъ доказалъ, что это внутреннее перемѣщеніе сначала происходитъ быстро, но потомъ продолжается всё медленнѣе-и-медленнѣе втеченіи мѣсяцевъ и даже годовъ. Если тогда нагрѣть термометръ до температуры кипѣнія ртути, то точка нуля опять займетъ свое прежнее положеніе. Можно точку нуля опять привести въ положеніе, которое она занимала послѣ полнаго внутренняго перемѣщенія частицъ, кипѣтя ртуть въ сосудѣ съ масломъ, гдѣ со потомъ оставляютъ медленно охлаждаться; медленное же охлажденіе совершается въ песчаной банѣ, посредствомъ которой и нагрѣвали сосудъ,—точка нуля послѣ этого болѣе не перемѣщается. Депре (Despretz) повторилъ эти опыты и замѣтилъ, что перемѣщеніе нуля можетъ продолжаться отъ 4-хъ до 5 лѣтъ. Сверхъ-того онъ доказалъ тотъ важный фактъ, что для перемѣщенія нуля достаточно тѣхъ измѣненій температуры, которымъ обыкновенно подвергается термометръ, въ-особенности когда температуры значительно уклоняются отъ средней. Перемѣщеніе можетъ доходить до 0°,5, когда приборъ нагрѣтъ до 100°. Продолжительный холодъ повышаетъ точку нуля; напротивъ, теплота ее понижаетъ и дѣйствіе это исчезаетъ только мало-по-малу. Должно, слѣдовательно, чаще повѣрять положеніе нуля, особенно, если термотетръ находился подъ вліяніемъ очень низкой или же очень высокой температуры. Пьеръ нашелъ, что въ хрустальномъ термометрѣ эти дѣйствія обнаруживаются сильнѣе, чѣмъ въ обыкновенномъ стеклянномъ, и что разстояніе между постоянными точками измѣняется мельше, если точку кипѣнія назначить прежде точки замерзанія. Рено приготовилъ нѣсколько термометровъ, въ которыхъ при нагрѣваніи до 100° нуль перемѣняется не болѣе какъ на 0°, 01; для этого шарики были выдуты изъ самыхъ хрусталь-

лыхъ трубокъ, на самомъ заводѣ, тотчасъ послѣ изготовленія трубокъ.

Когда нуль повышался послѣ начертанія скалы, то, для исправленія наблюденій, достаточно вычитать изъ нихъ величину, на которую перемѣстился нуль, ибо масса ртути въ термометрѣ не измѣняется, а измѣняется только вмѣстительность резервуара.

21. Термометръ съ промежуточнымъ резервуаромъ. — Съ одной стороны необходимо въ обыкновенномъ термометрѣ отъ времени-до-времени повѣрять нуль; съ другой стороны, неудобство приготовленія очень длинныхъ термометровъ (съ большими градусными дѣленіями) для измѣренія высокихъ температуръ, привело къ изобрѣтенію термометра съ промежуточнымъ резервуаромъ. Ниже дѣленій, которыя желаютъ имѣть, помѣщаютъ резервуаръ R (фиг. 11 величину котораго вычисляютъ по отношенію его къ одному изъ произвольныхъ дѣленій трубки, сравнивая вѣсъ заключенной въ немъ ртути съ вѣсомъ ртути находящейся въ нѣсколькихъ дѣленіяхъ; тогда будетъ извѣстно, сколькимъ дѣленіямъ соотвѣтствуетъ этотъ резервуаръ, а слѣдовательно и какое число должно поставить у перваго послѣдующаго дѣленія. Число градусовъ соотвѣтствующихъ этому резервуару можно также найти посредствомъ сравненія съ хорошимъ нормальнымъ термометромъ и такимъ-образомъ можно узнать величину этихъ градусовъ. Этого рода термометръ, изобрѣтенный Персономъ (Person) и Вальфердиномъ (Walferdin), каждымъ особо, можетъ, при длинѣ въ 2 дециметра, показывать сотыя доли градуса для температуръ близъ точки кипѣнія, съ сохраненіемъ градусовъ при 0°.

Фиг. 11.

22. Предѣлы показаній ртутнаго термометра. — Ртутный термометръ можетъ служить только до + 360°; при температурахъ высшихъ ртуть начинаетъ кипѣть и приборъ лопается. Ниже нуля термометръ можетъ показывать только до 36°; при температурѣ — 40° ртуть твердѣетъ, при — 36° и даже — 35° ртуть подвергается неправильному сжатію, дѣлающему показанія неточными. Для температуръ выше 360° пользуются различными приборами, извѣстными подъ названіемъ *пирометровъ*, о которыхъ мы будемъ говорить по изученіи законовъ расширенія жидкостей и газовъ. Для измѣренія температуры ниже — 36° употребляютъ *спиртовой термометръ*.

23. Спиртовой термометръ. — Чистый спиртъ (алькоголь) не замерзаетъ при какомъ бы то ни было холодѣ; жидкость эта, слѣдовательно, можетъ служить для устройства термометра предназначеннаго для низкихъ температуръ. По причинѣ незначительной плотности спирта, имъ нельзя наполнять трубку, такъ какъ ртутью. Для этого нагрѣваютъ резервуаръ, и, погрузивъ конецъ трубки въ спиртъ, даютъ прибору охладиться. Спиртъ входитъ въ резервуаръ по мѣрѣ того какъ воздухъ сжимается вслѣдствіе охлажденія. Потомъ трубку вынимаютъ изъ спирта снова нагрѣваютъ ее и когда приборъ наполнится парами, то вторично погружаютъ въ спиртъ, такъ, что по сгущеніи паровъ резервуаръ окончательно наполняется жидкостью. Остается только незначительное количество воздуха, находившагося въ растворѣ въ спиртѣ, который освобождается достигши нагрѣтаго резервуара. Чтобъ выгнать этотъ оставшійся воздухъ, термометрическую трубку привязываютъ къ снурку и вращаютъ наподобіе пращи. Соразмѣривъ, послѣ этого, количества спирта въ термометрѣ, т.-е. оставивъ онаго столько, сколько необходимо для расширенія на извѣстное количество градусовъ—запаиваютъ открытый конецъ, при чемъ оставляютъ нѣсколько воздуха, который своимъ давленіемъ препятствуетъ кипѣнію спирта, совершающемуся при мало возвышенной температурѣ. Чтобы удобнѣе различать спиртъ въ трубкѣ, его окрашиваютъ красильнымъ веществомъ, постоянныя точки назначаютъ какъ и въ ртутномъ термометрѣ. Промежуточныя дѣленія на спиртовомъ термометрѣ назначаютъ чрезъ сравненіе его съ хорошимъ ртутнымъ термометромъ, причемъ сравненія производятъ въ близкихъ предѣлахъ температуръ; иначе термометры не были бы согласны, какъ мы это тотчасъ увидимъ

24. Сравненіе термометровъ. — Показанія термометровъ, приготовленныхъ изъ разнородныхъ жидкостей, и раздѣленныхъ на градусы независимо одинъ отъ другаго, несогласны между собою для одной и той же температуры. Делюкъ, напримѣръ, нашелъ слѣдующіе результаты для 80-ти градусныхъ термометровъ, наполненныхъ ртутью, оливковымъ масломъ, алькоголемъ и водою.

Ртуть	—10°	—5°	0°	20°	40°	60°	80°
Масло	»	»	0	19,3	39,2	59,3	80
Алькоголь	—7,7	—3,9	0	16,5	35,1	56,2	80
Вода	»	»	0	4,1	20,5	45,8	80

Изъ этой таблицы видно, что показанія согласны между собою

только для температуръ постоянныхъ точекъ. Такимъ-образомъ раждается тотъ важный вопросъ: имѣется ли жидкость, которой показанія были бы пропорціональны прибыли теплоты? Вопросъ этотъ, возбужденный въ 1723 г Тайлоромъ (Taylor) былъ изслѣдованъ имъ помощью смѣси разныхъ количествъ по вѣсу, теплой и холодной воды Очевидно, что температура смѣси должна быть средняя между температурами t и t' обоихъ количествъ воды, т. е. $\frac{1}{2}(t+t')$, ибо холодная пріобрѣтаетъ именно ту часть теплоты, которую теплая теряетъ *) и термометръ, котораго показанія согласны между собою, покажетъ эту температуру $\frac{1}{2}(t+t')$. Опыты эти, повторенные Блекомъ (Black), Делюкомъ (Deluc), Кравфортомъ (Crawfort) показали, что ртутный термометръ удовлетворяетъ этому условію до 200°, т. е до этого предѣла показанія ртутнаго термометра между собою согласны. Свыше же 200° термометръ показываетъ температуру выше настоящей, изъ чего слѣдуетъ, что для повышенія ртутнаго термометра на 1°, потребуется при высокихъ температурахъ мѣньшее количество теплоты, чѣмъ при низкихъ. Ртутному термометру, слѣдовательно, должно отдать преимущество предъ термометрами, приготовленными изъ другихъ жидкостей Предпочтеніе это оправдывается еще согласностью показаній ртутнаго термометра съ воздушнымъ отъ—36° до 200°, какъ мы это увидимъ впослѣдствіи, когда будемъ говорить о расширеніи газовъ. При 300° они разнятся почти на 1°. Относительно же расширенія воздуха можно, какъ мы увидимъ, полагать съ достовѣрностью, что оно совершается правильнѣе нежели расширеніе твердыхъ и жидкихъ тѣлъ, и даже совершенно пропорціонально количествамъ пріобрѣтаемой теплоты.

Термометръ болѣе употребительный для низкихъ температуръ. Такъ-какъ ртутный термометръ не можетъ служить для температуръ ниже—36°, то употребляютъ термометръ спиртовой, но по причинѣ неправильнаго расширенія спирта, онъ не имѣетъ показаній согласныхъ съ ртутнымъ. Къ этому надо еще присоединить, что показанія одного спиртоваго термометра даже несогласны съ показаніями другаго. Такъ, напримѣръ, капитанъ Перри (Parry), въ Port-Bowen, встрѣчалъ иногда разницу въ 10° между показаніями нѣсколькихъ спир-

*) При этомъ предполагается, что упускаютъ изъ виду теплоту, пріобрѣтаемую или теряемую сосудомъ, въ которомъ производится опытъ. Мы впослѣдствіи укажемъ на способъ, посредствомъ котораго устраняется эта причина неточности.

товыхъ термометровъ приготовленныхъ искуснѣйшими художниками Капитанъ Франклинъ нашелъ разницу въ 8° при холодѣ отъ —25° до —30° Кромѣ этого, при столь низкихъ температурахъ чистый алькоголь отдѣляется частью отъ воды и жидкость перестаетъ быть однородною и теряетъ отчасти свою подвижность. Поэтому Мунке (Munke, въ 1836 г. предложилъ замѣнить спиртъ сѣрнистымъ углеродомъ, жидкостью незамерзающею при самыхъ сильныхъ морозахъ и которую можно легко добывать совершенно чистою, тогда какъ спиртъ невозможно имѣть совершенно однороднымъ и вполнѣ одинаково концентрированнымъ.

Пьеръ, въ пространномъ сочиненіи о расширеніи жидкостей, говоритъ о сдѣланномъ имъ сравненіи ртутнаго термометра съ термометрами приготовленными изъ 12 различныхъ жидкостей, изъ которыхъ каждый, независимо отъ другаго, былъ раздѣленъ на градусы. Пьеръ нашелъ, что водяной термометръ самый неточный изъ всѣхъ, около 53° показанія его разнятся отъ ртутнаго болѣе чѣмъ на 22° За нимъ слѣдуютъ сѣрнистоуглеродный и спиртовой термометры, первый показываетъ —28°, когда на ртутномъ—34°. Термометры приготовленные изъ обыкновеннаго эѳира, хлористаго этиля и бромистаго меѳиля меньше другихъ неточны.

Такъ-какъ собственно для температуръ ниже 0° необходимо имѣть термометры сравненные съ ртутнымъ, то дѣленія на нихъ можно назначать, принявши за постоянную точку, вмѣсто 100°, меньшую температуру, полученную изъ сравненія съ ртутнымъ термометромъ, тогда разности для другихъ температуръ будутъ менѣе значительны. Такъ, напримѣръ, если назначить прямо чрезъ сравненіе точку 40 на сѣрнистоуглеродномъ термометрѣ, то разность его съ ртутнымъ термометромъ, когда этотъ послѣдній покажетъ —35°, будетъ только 1°, 98 Такимъ-образомъ еслибы, для опредѣленія величины одного градуса, мы назначили чрезъ сравненіе точку — 30°, кромѣ точки тающаго льда, и полученную этимъ путемъ величину градуса отложили ниже—30°, то показанія термометра для температуръ значительно низшихъ можно было бы считать почти согласными съ показаніями между 30° и 0°. Однако такой приборъ не можетъ быть употребленъ для температуръ высшихъ нуля.

26. Чувствительность термометра. — Чувствительность термометра можетъ быть двухъ родовъ: во-первыхъ, относительно способности, которою онъ обладаетъ показывать болѣе или менѣе малыя доли градусовъ и во-вторыхъ, относительно быстроты съ ко-

торою онъ принимаетъ температуру окружающей его средины и обнаруживаетъ происходящія въ ней перемѣны. Для достиженія чувствительности перваго рода, должно употреблять большіе резервуары, дабы каждый градусъ трубки занималъ значительную часть по длинѣ оной, для чувствительности втораго рода необходимо, чтобы приборъ содержалъ только незначительную массу ртути и представлялъ наивозможно большую поверхность. Въ этомъ случаѣ цилиндрическій резервуаръ имѣетъ преимущество предъ сферическимъ и онъ тѣмъ выгоднѣе, чѣмъ больше отношеніе его длины къ діаметру. Когда длина его весьма значительна, то ему даютъ видъ спирали, для того чтобъ онъ занималъ меньше мѣста.

Впрочемъ, можно соединить оба рода чувствительности, употребляя резервуаръ небольшаго размѣра и очень тонкую трубку, а чтобъ въ то же время легко было различить столбикъ ртути, даютъ его сѣченію весьма растянутую эллиптическую форму, такъ, чтобъ столбикъ имѣлъ видъ пластинки. Такой столбикъ можно будетъ удобно видѣть, если будемъ смотрѣть на его широкія стороны, между-тѣмъ площадь сѣченія столбика при этомъ можетъ быть очень мала. Недавно придумали придѣлывать къ трубкѣ, во время ея выдѣлки, полоску изъ бѣлой эмали, на которой яснѣе обозначается столбикъ ртути.

Метастатическій термометръ. Валфердинъ (Walferdin) изобрѣлъ термометры подъ названіемъ *метастатическихъ*, которые приблизительно показываютъ разности до тысячныхъ долей градуса, хотя размѣры этихъ термометровъ незначительны. Ртутный метастатическій термометръ состоитъ изъ волосной трубки до того тонкой, что она заключаетъ въ себѣ только нѣсколько градусовъ *ab*, *bc*, *cd* (фиг. 12), раздѣленныхъ на множество равныхъ частей. Въ верхней части термометра находится резервуаръ *o*, содержащій небольшое количество ртути, въ резервуаръ этотъ проникаетъ острый конецъ трубки, такъ, что если опрокинуть приборъ, то этотъ конецъ погрузится въ ртуть. При употребленіи этого термометра надлежитъ каждый разъ соразмѣрять находящееся въ немъ количество ртути, для этого приборъ нагрѣваютъ до-тѣхъ-поръ, пока чрезъ острый конецъ трубки не выйдетъ столько ртути, чтобъ уровень ея въ трубкѣ помѣщался между точками *a* и *d*, если температура мало разнится отъ искомой температуры. Когда же эта температура низка, то напро-

Фиг. 12.

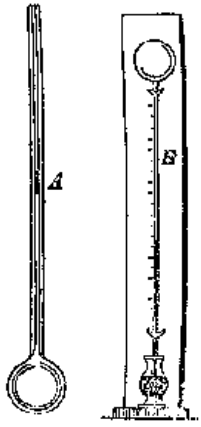
тивъ вводятъ въ снарядъ нѣсколько ртути, чрезъ острый конецъ трубки, для чего нагреваніемъ доводятъ ртуть до вершины термометра, потомъ его опрокидываютъ и въ этомъ положеніи даютъ ему охладиться. Приготовленный такимъ-образомъ термометръ опускаютъ въ ванну, температура которой извѣстна и мало отличается отъ той, которую желаютъ опредѣлить, замѣтивъ уровень ртути, переносятъ снарядъ въ средину содержащую искомую температуру, и число дѣленій, на которое перемѣстится столбикъ ртути, покажетъ разность между температурою, и искомою Предположимъ, напримѣръ, что хотятъ знать разности температуръ кипѣнія воды подъ различными атмосферными давленіями; для этого количество ртути въ термометрѣ соразмѣряютъ такимъ-образомъ, чтобы при погруженіи снаряда въ кипятокъ уровень пришелся между точками a и d; потомъ замѣчаютъ положеніе уровня и измѣряютъ атмосферное давленіе P. Если при другомъ атмосферномъ давленіи P', уровень ртути повысится на 15 дѣленій, и если каждый градусъ термометра имѣетъ 1000 такихъ дѣленій, то изъ этого надобно будетъ заключить, что при давленіи P', температура кипѣнія повысилась *противъ температуры кипѣнія при давленіи* P на $\frac{15}{1000}$ градуса. Иногда вмѣсто заостреннаго конца трубки довольствуются тѣмъ, что трубку съуживаютъ въ точкѣ d и когда ртуть достаточно расширится встряхиваютъ приборъ и тѣмъ разъединяютъ столбикъ ртути въ точкѣ d, а когда столбикъ спустится, наблюдаютъ послѣдовательныя положенія его уровня подъ точкою d

Спиртовой метастатическій термометръ подобенъ ртутному, съ тою только разницею, что въ верхнемъ резервуарѣ нѣтъ остраго конца трубки Резервуаръ этотъ содержитъ кромѣ спирта еще весьма маленькую каплю ртути. Если нагрѣть приборъ и дать ему потомъ охладиться, то капля ртути проникаетъ въ каналъ трубки и положеніе этой капли соразмѣряютъ такимъ-образомъ, чтобы она находилась для температуръ, подлежащихъ опредѣленію, почти на срединѣ трубкѣ, гдѣ капля эта служитъ *указателемъ*. Потомъ поступаютъ какъ съ ртутнымъ метастатическимъ термометромъ.

Надобно замѣтить, что количество жидкости образующей термометръ, смотря по сдѣланному предварительно соразмѣренію, различно, почему для каждаго положенія термометра, надобно вычислять особо величину одного изъ его дѣленій по стоградусному термометру Метастатическій спиртовой термометръ, длиною въ 0,15 метра, имѣя резервуаръ высотою въ 8 миллиметр. и 4 м. въ діаметрѣ, показываетъ до тысячныхъ долей градуса

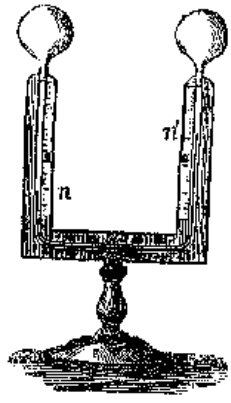
26. Воздушный термометръ. — Когда хотятъ опредѣлить самыя незначительныя измѣненія температуры, употребляютъ термометры основанные на расширеніи воздуха. Самый простой воздушный термометръ состоитъ изъ резервуара, наполненнаго воздухомъ и волосной трубки *A* (фиг. 13), въ которой находится капля жидкости или указатель, служащій для отдѣленія внутренняго газа отъ атмосфернаго воздуха. Перемѣщенія указателя показываютъ измѣненія температуры. Въ *B* показано другое устройство: конецъ трубки погруженъ въ открытый сосудъ, наполненный жидкостью, нагрѣвая приборъ, выгоняютъ изъ трубки часть воздуха и жидкость, во время охлажденія прибора, поднимается въ трубку. Измѣненія уровня показываютъ измѣненія въ температурѣ. Градусное дѣленіе этихъ термометровъ производится такимъ-образомъ, что на трубкѣ назначаютъ двѣ точки по сравненію съ ртутнымъ термометромъ, откуда уже опредѣляютъ величину градусовъ. Очевидно, что измѣненія атмосфернаго давленія имѣютъ вліяніе на приготовленные подобнымъ образомъ воздушные термометры, но эти термометры чрезвычайно удобны для показанія быстрыхъ перемѣнъ температуры. Употребленіе этихъ термометровъ въ-особенности распространено Пикте (Pictet).

фиг. 13.



27. Дифференціальные термометры. — Лесли (Leslie), предложилъ воздушный термометръ, на который измѣненія внѣшняго давленія не имѣетъ никакого вліянія. Приборъ этотъ состоитъ изъ согнутой трубки фиг. 14), обѣ вѣтви которой оканчиваются двумя равными шариками. Трубка заключаетъ столбикъ концентрированной сѣрной кислоты *nm*, подкрашенной карминомъ. Жидкость эта при обыкновенной температурѣ вовсе почти не испаряется. Жидкость вводятъ въ трубку, когда обѣ вѣтви еще разъединены, въ одномъ изъ угловъ, послѣ чего вѣтви спаиваютъ на лампѣ. Если нагрѣть одинъ изъ шариковъ, то воздухъ расширяясь гонитъ жидкость въ противоположную сто-

фиг. 14.

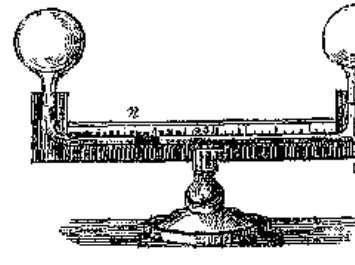


рону. Такимъ-образомъ, можно перевести всю жидкость въ одинъ изъ шариковъ, а потомъ пропустить въ него сквозь жидкость воздухъ.

Поступая подобнымъ образомъ, можно наконецъ дойдти до того, что оба шарика будутъ заключать равныя количества воздуха и тогда уровни n и n' будутъ на одной горизонтальной линіи, если температуры обоихъ шариковъ между собою равны. При этомъ общемъ уровнѣ ставятъ нуль; потомъ одинъ изъ шариковъ окружаютъ сосудомъ наполненнымъ теплою водою, температура которой опредѣлена ртутнымъ термометромъ. Въ сосудѣ сдѣланъ прорѣзъ для пропуска трубки, отверстіе это потомъ закрываютъ пробкой. Положимъ, что температура воды 10° превышаетъ температуру воздуха, окружающаго другой шарикъ, тогда у уровня жидкости на обѣихъ вѣтвяхъ ставятъ 10; раздѣливъ промежутокъ между этою точкою и 0 на десять равныхъ частей, получаютъ величину одного градуса, которую откладываютъ на обѣихъ вѣтвяхъ вверхъ и внизъ отъ нуля. Показанія этого термометра согласны съ ртутнымъ до-тѣхъ-поръ, пока уровни жидкости не выйдутъ изъ вертикальныхъ частей трубки, какъ это доказываетъ опытъ, это согласно также, какъ мы увидимъ, съ законами расширенія газовъ. Помощью этого прибора можно также получать абсолютныя температуры, а не одни только разности; стóитъ только температуру одного изъ шариковъ поддерживать на нулѣ, окруживъ его тающимъ льдомъ.

Термоскопъ Румфорта (Rumfort). Лесли придалъ своему дифференціальному термометру другую форму, которая въ то же время была предложена Румфортомъ, назвавшимъ свой снарядъ термоскопомъ. Оба шарика (фиг 15) соединены горизонтальною трубкою, болѣе длинной, нежели въ предъидущемъ снарядѣ; въ горизонтальной вѣтви находится капля концентрированной сѣрной кислоты n, служащей указателемъ и отдѣляющей обѣ массы воздуха, содержащіяся въ обоихъ половинахъ снаряда. Указатель долженъ находиться по срединѣ, когда температура по обѣ стороны его одна и та же. Чтобъ соразмѣрить приборъ въ этомъ отношеніи, отводятъ указатель въ придаточную трубку a, и посредствомъ нагрѣванія уравниваютъ ко-

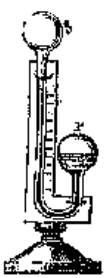
фиг. 15.



личество воздуха въ обоихъ шарикахъ, нагрѣвая тотъ изъ шариковъ, въ которомъ содержится больше воздуха. Послѣ этого впускаютъ, наклонивъ приборъ, указатель въ горизонтальную вѣтвь трубки, и наконецъ, когда температура обоихъ шариковъ одна и та же, достигаютъ того, что указатель остановится по срединѣ. У обѣихъ оконечностей указателя ставятъ тогда нуль и подобнымъ же образомъ, какъ для дифференціальнаго термометра Лесли, опредѣляютъ еще другую точку, чтобы получить величину одного градуса. Пока указатель находится въ горизонтальной части трубки, показанія термоскопа между собою согласны.

Другаго рода устройство снаряда, представленное на фиг. 16-й, было придумано Говардомъ (Howard). Показанія этого термометра будутъ согласны между собою въ томъ случаѣ, когда представляется возможность пренебречь измѣненіями объема воздуха, заключеннаго въ резервуарѣ *r*. Термометръ этотъ можно замѣнить воздушнымъ термометромъ *B*, представленнымъ въ фиг. 13-й, если предположить нижній резервуаръ этого послѣдняго закрытымъ и содержащимъ только малое количество жидкости

фиг. 16.



Воздушный термометръ употребляется также для опредѣленія высокихъ температуръ и тогда онъ носитъ названіе воздушнаго *пирометра*. Мы упомянемъ о немъ при изученіи законовъ расширенія газовъ.

28. Объ изобрѣтеніи термометра.—Драгоцѣнный этотъ снарядъ былъ изобрѣтенъ подъ видомъ воздушнаго термометра. До того времени о степени тепла и холода имѣли только самыя неопредѣленныя понятія. Достовѣрно неизвѣстно, кому слѣдуетъ приписать честь этого изобрѣтенія; по бо́льшей части его приписываютъ Дреббелю Drebbel), который по мнѣнію однихъ былъ сынъ крестьянина сѣверной Голландіи, а другіе утверждаютъ, что онъ былъ родомъ изъ Алкмаэра и сынъ богатыхъ родителей. Кромѣ-того заслугу этого изобрѣтенія приписываютъ также Галилею (1597 г.), Бэкону, Санкторіусу, Флюдду, Сарпи и Борелли. Весьма вѣроятно, впрочемъ, что умы многихъ ученыхъ были направлены къ достиженію этой важной цѣли для науки и что такимъ-образомъ идея устройства термометра родилась вдругъ въ головѣ нѣсколькихъ физиковъ Тѣмъ не менѣе, однакожь, вопросъ этотъ повидимому долженъ быть рѣшенъ въ пользу Галилея, потому-что числа, показывающія эпохи изобрѣтенія другихъ претендентовъ, позже 1597 г. Термометръ Гали-

лея имѣлъ устройство показанное на фиг. 13-й подъ буквою *A*; а подъ буквою *B* мы видимъ устройство термометра Дреббеля Въ послѣднемъ видѣ термометръ вошелъ въ употребленіе во Фландріи и въ Англіи, отчего и понятно, почему Дреббеля обыкновенно считаютъ изобрѣтателемъ термометра.

Флорентинскіе академики первые устроили термометръ основанный на расширеніи жидкостей и употребленная ими жидкость былъ спиртъ Галлей (Halley), Рэмеръ (Roemer), Фаренгейтъ (Fahrenheit), употребили около 1680 г. ртуть, а Ньютонъ (Newton употребилъ льняное масло. Первоначальная скала была произвольная и различные термометры не давали согласныхъ между собою показаній *). Репальдини, какъ кажется, первый, въ концѣ XVII столѣтія, пытался устроить постоянную скалу; онъ погружалъ приборъ въ тающій ледъ, а потомъ въ смѣсь тающаго льда съ горячей водой, взятыхъ въ опредѣленной пропорціи. Ньютонъ назначалъ 0° при таяніи льда, а за другую постоянную точку пріискалъ температуру крови человѣка и ставилъ 12° Фаренгейтъ также приготовлялъ термометры согласные между собою; но какимъ образомъ—не извѣстно. Около того же времени Реомюръ дѣлилъ термометры большихъ размѣровъ слѣдующимъ образомъ. Въ термометры сперва наливалъ воду, а къ этой послѣдней подливалъ равныя доли ртути, соотвѣтствующія $\frac{1}{100}$ объема резервуара, причемъ замѣчали повышеніе уровня соотвѣтствовавшее каждому прибавленію ртути; потомъ воду Реомюръ замѣнялъ спиртомъ. Дѣленія термометровъ мѣньшихъ размѣровъ, Реомюръ производилъ чрезъ сравненіе съ вышеописанными. Въ признательность къ этимъ трудамъ, физики дали 80 градусной скалѣ названіе Реомюровой. Цельсій въ Упсалѣ, принялъ около 1741 г. за постоянныя точки: точку таянія льда и точку кипѣнія воды, а трубку раздѣлилъ на 100 частей; это иногда приписываютъ и Ньютону. Съ этого именно времени термометръ становился точнымъ снарядомъ; впослѣдствіи въ немъ было сдѣлано еще множество усовершенствованій и онъ сдѣлался предметомъ изслѣдованій бо́льшаго числа фи-

---

*) Флорентинскіе академики одинако употребляли термометры, раздѣленные на 50 частей и показанія этихъ термометровъ были согласны между собою Въ новѣйшее время было найдено нѣсколько такихъ термометровъ и Либри доказалъ, что для температуры тающаго льда они показываютъ 13 5. Нуль этихъ термометровъ соотвѣтствовалъ температурѣ погребовъ. (Annales de chimie et de physique 2-e série, t. XLV).

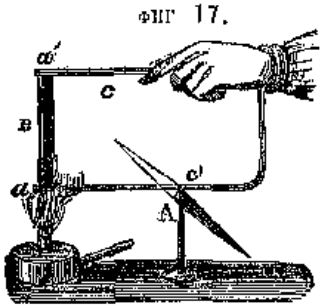
зиковъ, между которыми первое мѣсто занимаютъ труды Дюлонга и Пти.

29. Термомультипликаторъ Нобили и Меллони. — (Nobili, et Melloni) Всѣ термометры, о которыхъ мы говорили до-сихъ-поръ, основаны на расширеніи тѣлъ. Теперь же мы опишемъ термометрическій снарядъ гораздо болѣе чувствительный и основанный на совершенно другихъ дѣйствіяхъ теплоты, которыя подробнѣе разсматриваются въ сочиненіяхъ объ электричествѣ; здѣсь ограничимся только изложеніемъ явленій, знаніе которыхъ необходимо для того, чтобъ понять какъ начало, на которомъ основано устройство снаряда, такъ и способъ его употребленія. Явленія эти представляются въ числѣ двухъ главныхъ:

1. Магнитная стрѣлка, вращающаяся горизонтально на остріѣ, останавливается въ опредѣленномъ положеніи, а именно ось ея приблизительно направляется съ *сѣвера* на *югъ*. Выведенная изъ этого положенія, она опять возвращается къ нему, совершивъ извѣстное число колебаній. На этомъ свойствѣ магнитной стрѣлки основанъ компасъ.

2. Если сдѣлать сомкнутую кривую изъ двухъ различныхъ металловъ $B\,c\,c'$ (фиг. 17), спаянныхъ между собою въ точкахъ a и a', и кривую эту расположить на весьма близкомъ разстояніи отъ магнитной стрѣлки A, такимъ-образомъ, чтобъ часть кривой была параллельна стрѣлкѣ, то положеніе сей послѣдней не измѣнится, когда спаи a и a' будутъ имѣть одинаковую температуру. Когда же одинъ изъ спаевъ нагрѣть болѣе другаго, то стрѣлка отклоняется и стремится стать на крестъ со стороною c', составляя съ нею нѣкоторый уголъ, который тѣмъ ближе подходитъ къ прямому, чѣмъ больше разность между температурами спаевъ. Дѣйствіе это происходитъ отъ движенія *электрической жидкости*, возбужденной теплотою; жидкость эта пробѣгаетъ по металлической дугѣ и образуетъ такъ-называемый *гальваническій токъ*. Явленіе это можетъ служить для сравненія различныхъ дѣйствій теплорода посредствомъ степени отклоненія магнитной стрѣлки.

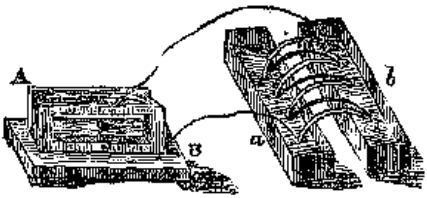
фиг 17.



Если же вмѣсто цѣпи, составленной изъ двухъ спаянныхъ металлическихъ дугъ, образовать цѣпь изъ нѣсколькихъ частей двухъ ме-

талловъ, попеременно спаянныхъ между собою, и возвысить только температуру четныхъ спаевъ, погрузивъ ихъ напримѣръ въ горячую воду *b* (фиг. 18), а спаи нечетные въ холодную воду *a*, или же обратно, то въ этомъ случаѣ дѣйствіе на магнитную стрѣлку, для той же разности температуры, будетъ гораздо сильнѣе, чѣмъ при двухъ только спаяхъ. Систему такихъ спаянныхъ металловъ называютъ термоэлектрическимъ приборомъ.

фиг. 18.

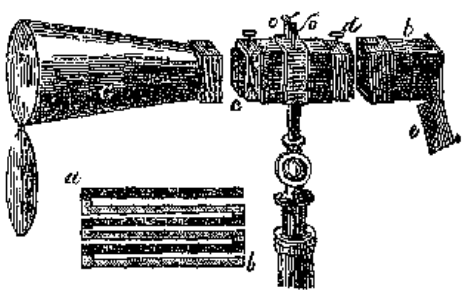


Дѣйствіе гальваническаго тока на магнитную стрѣлку можно еще усилить, обвивъ проволоку нѣсколько разъ около стрѣлки, причемъ необходимо отдѣлять обороты одинъ отъ другаго посредствомъ шелка, недозволяющаго гальваническому току переходить поперегъ изъ одного оборота въ другой, такъ, чтобы токъ вынужденъ былъ проходить по всему протяженію проволоки. Расположенный такимъ-образомъ снарядъ называется *реометромъ-мультипликаторомъ* *AB* (фиг. 18).

30. Описаніе прибора. — Познакомившись съ этими началами, приступимъ къ описанію снаряда Нобили и Меллони. Снарядъ этотъ состоитъ изъ двухъ главныхъ частей. *термоэлектрическаго прибора* и *реометра-мультипликатора*, служащаго для обнаруженія электрическаго тока, посредствомъ отклоненія стрѣлки и, слѣдовательно, показывающаго разность температуры между обоими рядами спаевъ термоэлектрическаго прибора.

Термоэлектрическій приборъ. Эта часть снаряда составлена изъ небольшихъ брусковъ висмута и сурьмы, въ 2 или 4 сантим. длины, попеременно между собою спаянныхъ, какъ показываетъ *a b* (фиг. 19), такъ-что они образуютъ прямоугольный параллелепипедъ *cd*, въ которомъ всѣ четные спаи составляютъ одно основаніе, а всѣ нечетные другое. *cd* представляетъ собраніе брусковъ, составляющихъ приборъ, который окруженъ тонкой латунной пластинкой отдѣленной отъ прибора поло-

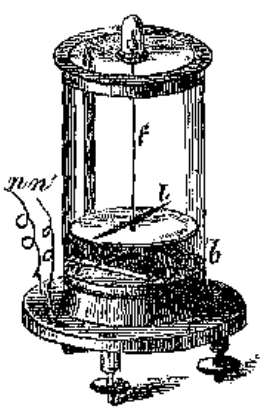
фиг. 19



сою бумаги. На оконечностяхъ видны спаи брусковъ, составляющіе обѣ стороны *c* и *d* прибора. Оба конца металлической цѣпи находятся въ непосредственномъ соединеніи съ латунными шпильками *oo'*, къ которымъ прикрѣплены мѣдныя проволоки, сообщающіяся съ проволокою реометра-мультипликатора. Наконецъ обѣ стороны термоэлектрической цѣпи покрываютъ сажею, имѣющею свойство поглощать теплоту лучше всякаго другаго вещества. Трубка *t*, вычерненная внутри и снабженная подвижнымъ экраномъ *e*, можетъ быть приложена къ каждому изъ концовъ прибора, для защищенія этого конца отъ теплоты могущей падать сбоку.

Реометръ-мультипликаторъ. Вторая часть снаряда состоитъ изъ мѣдной проволоки, обернутой шелкомъ и образующей большое число оборотовъ около рамы *ab* (фиг. 20); внутри рамы повѣшена магнитная стрѣлка на нити *f* изъ некрученнаго шелка, для придапія стрѣлкѣ бо́льшей подвижности. Другая магнитная стрѣлка *l* укрѣплена параллельно первой посредствомъ небольшаго вертикальнаго стержня, проходящаго чрезъ верхъ рамы *ab*; она служитъ для показанія отклоненій на горизонтальномъ раздѣленномъ кругѣ. Сперва мультипликаторъ располагаютъ такъ, чтобъ магнитныя стрѣлки находились въ плоскости рамы *ab*, тогда стрѣлка *l* соотвѣтствуетъ нулю на кругѣ. Теперь, если мы станемъ нагрѣвать одну изъ сторонъ цѣпи, соединивъ предварительно посредствомъ металлическихъ проволокъ шпильки *oo'* (фиг. 20) съ концами *nn'* проволоки мультипликатора, то это возвышеніе температуры причинитъ отклоненіе стрѣлокъ. На оборотъ, если мы будемъ охлаждать эту сторону, или, что все-равно, нагрѣвать другую сторону, то стрѣлка также отклонится, но только въ противоположную сторону. Чтобы по отклоненію стрѣлки можно было судить о напряженіи дѣйствія теплоты на одну изъ сторонъ термоэлектрическаго прибора, составляютъ таблицы, въ которыхъ каждый градусъ отклоненія выраженъ числомъ, представляющимъ разность температуры обоихъ сторонъ. Способъ составленія этихъ таблицъ излагается въ курсахъ объ электричествѣ. Меллони доводитъ ихъ только до отклоненія въ 35°, потому-что далѣе этого малѣйшее перемѣщеніе положенія привѣса стрѣлки производитъ значительныя измѣне-

Фиг. 20.



нія въ показаніяхъ снаряда Отклоненіе въ 35° соотвѣтствуетъ разности температуры обѣихъ сторонъ цѣпи отъ 6° до 8°.

Описанный нами снарядъ въ-особенности важенъ для показанія дѣйствій лучистаго теплорода. Онъ до того чувствителенъ, что на него уже дѣйствуетъ обыкновенная теплота человѣка отстоящаго отъ снаряда на 26 и до 32 фут; чувствительность эта въ-особенности увеличивается, если къ сторонѣ принимающей теплоту присоединить конусъ (фиг. 19) наполированный внутри и служащій для собранія большаго количества теплоты. Нобили и Меллони доказали посредствомъ этого снаряда, что насѣкомыя издаютъ теплоту; ихъ заключали въ трубку *t* (фиг 19) снабженную стѣлью со стороны термоэлектрическаго прибора и закрытую съ другаго конца. Нобили и Меллони также доказали, что слабый свѣтъ фосфора сопровождается теплотой. Наконецъ посредствомъ выпуклаго стекла въ 1 метръ въ діаметрѣ (около 3 футовъ, Меллони, сосредоточивъ лунные лучи на одной изъ сторонъ прибора, увидѣлъ, что магнитная стрѣлка мультипликатора подвинулась почти на 3°, что доказываетъ, что лунные лучи имѣютъ свободный теплородъ, въ чемъ до того времени сомнѣвались.

Впослѣдствіи мы будемъ имѣть случай познакомиться съ другими снарядами, предназначенными для измѣренія температуръ. Знаніе описанныхъ нами приборовъ достаточно для того, чтобы перейти непосредственно къ изученію явленій теплоты.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

О лучистомъ теплородѣ.

§ 1. Распространеніе лучей теплорода въ одной и той же срединѣ.

I. Законы передачи теплорода на разстояніи.

31. Теплородъ передается на разстояніи. — Теплородъ можетъ распространяться двоякимъ образомъ: или въ самомъ веществѣ тѣлъ, отъ частицы къ частицѣ, или же въ пространствѣ, на разстояніяхъ иногда огромныхъ отъ источника, изъ котораго онъ истекаетъ.

Теплородъ въ состояніи движенія внѣ тѣлъ называется *лучистымъ теплородомъ*; существованіе лучистаго теплорода очевидно въ отношеніи теплоты издаваемой солнцемъ, достигающей къ намъ изъ огромнаго разстоянія. Но теплота эта сопровождается свѣтомъ, по этой причинѣ ее прежде называли свѣтлою теплотою, и долго сомнѣвались въ томъ, чтобы темный теплородъ (т.-е. безъ сопровожденія свѣта, обладалъ одинаковыми съ первою свойствами Лесли (Leslie) полагалъ, что распространеніе теплорода въ пространствѣ происходитъ отъ сотрясательнаго движенія, сообщаемаго воздуху прикосновеніемъ горячаго тѣла, передающаго теплородъ изъ слоя въ слой; онъ даже полагалъ, что лучи солнца пріобрѣтаютъ теплоту только по прикосновеніи съ атмосферою, и объяснялъ холодъ, царствующій на вершинѣ высокихъ горъ, встрѣчаемымъ тамъ разрѣженнымъ воздухомъ Но Шеле (Scheele) доказалъ, что эта передача теплорода въ пространствѣ совершается безъ посредства воздуха, потому-что быстрое возобновленіе воздуха въ пространствѣ, чрезъ которое проходитъ теплородъ, нисколько не измѣняетъ дѣйствій послѣдняго. Шеле также обязаны первыми изслѣдованіями о распространеніи теплорода; опыты свои онъ дѣлалъ надъ теплотою издаваемою печными дверцами Маріотъ (Mariotte), какъ кажется, первый показалъ, что теплородъ распространяется посредствомъ лучеиспусканія, подобно свѣту; а Ламберъ (Lambert), впослѣдствіи, особенно изучилъ эти явленія. Для разрѣшенія всѣхъ сомнѣній, необходимо было произвести опытъ въ безвоздушномъ пространствѣ— что и было сдѣлано. Самый убѣдительный опытъ есть нижеслѣдующій, сдѣланный Румфортомъ.

Фиг. 21.

Лучеиспусканіе въ безвоздушномъ пространствѣ. Шаръ *a* (фиг 21), вмѣщающій термометръ, припаянъ къ трубкѣ длиною въ 32 дюйма, открытой съ одного конца Шаръ и трубку наполняютъ сухою ртутью изъ которой тщательно вытянутъ воздухъ; закрываютъ пальцомъ отверстіе трубки и потомъ опрокидываютъ снарядъ въ ванну со ртутью, какъ при изготовленіи барометра. Ртуть тогда выйдетъ изъ шара и наполнитъ трубку приблизительно до высоты $0^m,76$ (около 30 дюймовъ). Такимъ-образомъ получается шаръ по-возможности совершенно пустой. Послѣ того, помощью паяльной трубки, направляютъ пламя лампы на трубку придѣланную къ шару *a*, причемъ трубку эту слѣдуетъ вращать около ея оси. Отъ дѣйствія пламени трубка

размягчается, атмосферное давленіе ее сжимаетъ, образуется съуженіе *e* и вскорѣ каналъ трубки совершенно запаивается. Тогда, потянувъ за шаръ, отдѣляютъ его герметически запаяннымъ и совершенно пустымъ.

Шаръ этотъ можетъ служить для доказательства лучеиспусканія темнаго теплорода въ пустомъ пространствѣ; опустивъ шаръ въ теплую воду, мы увидимъ, что термометръ тотчасъ поднимется вслѣдствіе передачи теплоты отъ стѣнокъ шара къ термометру. Можно бы возразить, что теплородъ могъ быть переданъ жидкости, содержащейся въ термометрѣ, посредствомъ трубки послѣдняго и что именно это обстоятельство было причиною, заставившею термометръ подняться, но опуская въ воду только конецъ *a*, мы видимъ, что термометръ не поднимается, или по-крайней-мѣрѣ поднимается гораздо меньше.

32. Кажущееся лучеиспусканіе холода. — Съ этимъ же самымъ шаромъ можно сдѣлать опытъ, который доказываетъ, что холодъ не составляетъ особеннаго дѣятеля, но просто есть слѣдствіе потери теплорода. А именно, если погрузить шаръ въ очень холодную жидкость, то термометръ опустится, что казалось бы и можно было принять за лучеиспусканіе холода, но если подержать нѣкоторое время шаръ въ жидкости еще болѣе холодной и перенести его потомъ опять въ первую, то термометръ въ этой послѣдней поднимается. Въ этомъ случаѣ, слѣдовательно, шаръ получитъ теплоту отъ жидкости, сообщавшей ему сперва повидимому холодъ. Такимъ-образомъ тѣла самыя холодныя издаютъ еще теплородъ, и если при первомъ опытѣ термометръ опускается, то это потому, что онъ издаетъ теплоту, теряя оную въ пользу окружающей его болѣе холодной оболочки. Чувство холода, ощущаемое рукою при приближеніи ея ко льду, также происходитъ оттого, что рука передаетъ много теплоты льду, а не отъ холода производимаго симъ послѣднимъ; потому-что, приблизивъ ледъ къ термометру доведенному до температуры еще болѣе низкой, увидимъ, что термометръ поднимется.

Мы должны заключить изъ вышесказаннаго, что *лучей холодотворныхъ*, какъ это долго полагали, не существуетъ, и что холодъ есть только слѣдствіе невознагражденной потери теплорода, производящей въ насъ особенное ощущеніе, въ тѣлахъ же неодушевленныхъ уменьшеніе объема. Замѣтимъ также, что нѣтъ причины раздѣлять лучистый теплородъ на свѣтлый и темный, потому-что законы распространенія его въ обоихъ случаяхъ совершенно одинаковы

33. Тѣла теплопрозрачныя. — (Corps diathermanes). Теплородъ можетъ, какъ мы видѣли, передаваться въ пространствѣ безъ посредства вѣсомой матеріи; онъ можетъ также проходить прямо чрезъ нѣкоторыя тѣла, не задерживаясь въ нихъ для ихъ нагрѣванія. Очевидно, что воздухъ есть одно изъ такихъ веществъ; сюда же относится стекло и вообще всѣ прозрачныя тѣла. Но какъ не всѣ вещества, чрезъ которыя можетъ проходить теплородъ, имѣютъ также свойство пропускать свѣтъ, то первыя изъ нихъ, т.-е пропускающія лучистый теплородъ, Меллони назвалъ *теплопрозрачными*. Слово это въ отношеніи теплорода соотвѣтствуетъ слову прозрачный, относительно свѣта. Мы займемся въ-особенности явленіями въ веществахъ теплопрозрачныхъ.

34. Законы распространенія лучистаго теплорода. — Теплота передается по прямой линіи; чтобы это доказать, достаточно поставить между источникомъ издающимъ теплородъ и одинмъ изъ шариковъ термоскопа рядъ экрановъ, имѣющихъ каждый по небольшому отверстію. Термоскопъ покажетъ повышеніе температуры только въ такомъ случаѣ, когда всѣ отверстія экрановъ будутъ находиться на одной прямой линіи отъ источника теплорода до шарика термоскопа. Если же пропускать теплородъ сквозь трубку, то надобно ей дать видъ и положеніе такіе, чтобы прямая линія, идущая отъ одной изъ точекъ источника теплорода до шарика термоскопа, не касалась внутренней поверхности трубки, иначе указатель термоскопа не измѣнитъ своего положенія.

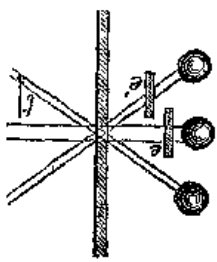
Лучъ теплорода. Лучомъ теплорода называется путь, по которому распространяется теплота отъ каждой точки поверхности, испускающей теплородъ Отсюда происходитъ названіе *лучистаго теплорода*, которое Шеле далъ теплороду въ движеніи внѣ тѣлъ. Лучокъ теплорода есть ни что иное, какъ коническое или призматическое пространство, во всѣхъ точкахъ котораго проходятъ лучи теплорода, истекающіе изъ вершины конуса, или основанія призмы

Однородное тѣло, котораго всѣ точки имѣютъ одинаковую температуру, одинаково издаетъ лучи во всѣ стороны. Однако если расположить вокругъ накаленнаго ядра нѣсколько равныхъ термомстровъ, то увидимъ, что верхніе поднимаются скорѣе другихъ. Результатъ этотъ происходитъ отъ расширенія воздуха вокругъ накаленнаго ядра; нагрѣтый воздухъ, поднимаясь по причинѣ уменьшенія своей плотности, встрѣчаетъ верхній термометръ и прикасаясь къ нему сообщаетъ сему послѣднему теплородъ, заимствованный у ядра. Фло-

рентинскіе академики, помѣстивъ въ Торричелліеву пустоту два термометра, одинъ вверху, а другой внизу — нашли, что нагрѣтое тѣло, поставленное около трубки барометра на одинаковомъ разстояніи отъ обоихъ термометровъ, одинаково нагрѣвало какъ тотъ, такъ и другой

Когда нѣсколько пучковъ теплорода, истекающихъ изъ различныхъ источниковъ, проходятъ одновременно чрезъ одно и то же отверстіе, то взаимное дѣйствіе ихъ чрезъ то не уменьшается и они не оказываютъ противодѣйствія другъ другу, ибо термометръ t (фиг. 22), поставленный на пути одного изъ нихъ, не измѣнится, если преградить пути другихъ экранами e e', или отнять одинъ изъ этихъ экрановъ. Явленіе это объясняется въ теоріи сотрясеній началомъ интерференціи.

фиг. 22.



35. О скорости лучистаго теплорода. — До-сихъ-поръ еще не могли опредѣлить скорость, съ которою распространяется теплородъ. Каждый разъ когда отнимаютъ экранъ, поставленный между источникомъ теплорода и весьма чувствительнымъ термометромъ, дѣйствіе теплорода тотчасъ обнаруживается на послѣдній, какъ бы далеко не отстоялъ источникъ издающій теплоту Пиктé (Pictet) дѣлалъ въ этомъ отношеніи опыты на разстояніи 69 футовъ посредствомъ сопряженныхъ зеркалъ; снарядъ этотъ мы опишемъ далѣе. Итакъ теплородъ, какъ кажется, передается мгновенно; но какъ законы лучераспространенія свѣта и теплорода суть тѣ же, то надо думать, что скорости распространенія этихъ двухъ дѣятелей, если и не тожественны, то по-крайней-мѣрѣ принадлежатъ къ величинамъ того же порядка. Скорость же свѣта составляетъ 280000 верстъ въ секунду; слѣдовательно теплородъ имѣетъ чрезвычайно большую скорость, и можно считать, что въ отношеніи разстояній, принимаемыхъ на поверхности Земли, теплородъ сообщается мгновенно.

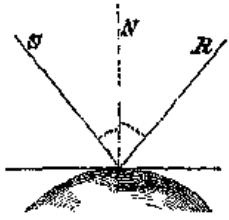
II. Отраженіе теплорода.

36. Когда лучи теплорода встрѣчаютъ поверхность отдѣляющую двѣ различныя средины, то опытъ показываетъ, что лучи эти раздѣляются на двѣ части: одна изъ нихъ проникаетъ сквозь эту поверхность во внутрь средины,— другая возвращается въ первую средину.

Это возвращение лучей отъ отдѣляющей поверхности въ первую среднну, составляетъ явленіе *отраженія* теплорода. Опыты, которые мы приведемъ для объясненія законовъ отраженія, послужатъ намъ въ то же время доказательствомъ существованія этого явленія.

Падающимъ лучомъ называютъ лучъ теплорода $S\ I$ (фиг. 23), до встрѣчи его съ поверхностью, *а лучомъ отраженнымъ* тотъ же лучъ $I\ R$, послѣ встрѣчи. Точку встрѣчи I называютъ *точкою паденія*. Уголъ $S\ I\ N$, составляемый падающимъ лучомъ съ нормальною $I\ N$ къ поверхности, отдѣляющей обѣ средины, называютъ *угломъ паденія*, а уголъ $R\ I\ N$, образуемый лучомъ отраженнымъ съ тою же нормальною, *угломъ отраженія*.

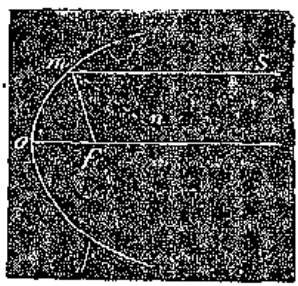
фиг. 23.



37. Законы отраженія. 1) *Падающій лучъ, лучъ отраженный и нормальная въ точкѣ паденія находятся въ одной и той же плоскости.* 2) *Уголъ паденія равенъ углу отраженія.* Чтобы доказать эти законы, пропускаютъ непосредственные теплородные лучи чрезъ отверстія сдѣланныя въ экранахъ, направляютъ ихъ на отражающую поверхность и располагаютъ термоэлектрическій приборъ (30), такъ, чтобы ось его была направлена къ точку паденія и принимала отраженный пучокъ. Тогда находятъ, что отражающаяся поверхность составляетъ равные углы съ этою осью и съ направленіемъ отверстій въ экранахъ, и перпендикулярна къ плоскости этихъ двухъ направленій, что и доказываетъ справедливость поименованныхъ законовъ. Но способомъ этимъ достигается только довольно грубое приближеніе, ибо надобно употребить пучокъ теплорода значительнаго поперечника, чтобы дѣйствовать на термоэлектрическій снарядъ и въ этомъ случаѣ нельзя достигнуть большой точности въ опредѣленіи направленій пучковъ падающихъ и отраженныхъ. Неудобство это не существуетъ въ отношеніи свѣта, ибо даже тончайшій пучокъ свѣта уже дѣйствуетъ на нашъ глазъ; поэтому законы отраженія свѣта, въ сущности тѣ же, что и законы отраженія теплорода,—могутъ быть непосредственно доказаны опытомъ съ величайшею точностью, какъ это извѣстно изъ оптики. Обстоятельство это представляетъ намъ удобное средство для нахожденія тѣхъ же законовъ для теплорода, чрезъ сравненіе направленія отраженныхъ лучей сего послѣдняго съ направленіемъ, которому слѣдуютъ отраженные на томъ же зеркалѣ лучи свѣта, прошедшіе по тому же пути.

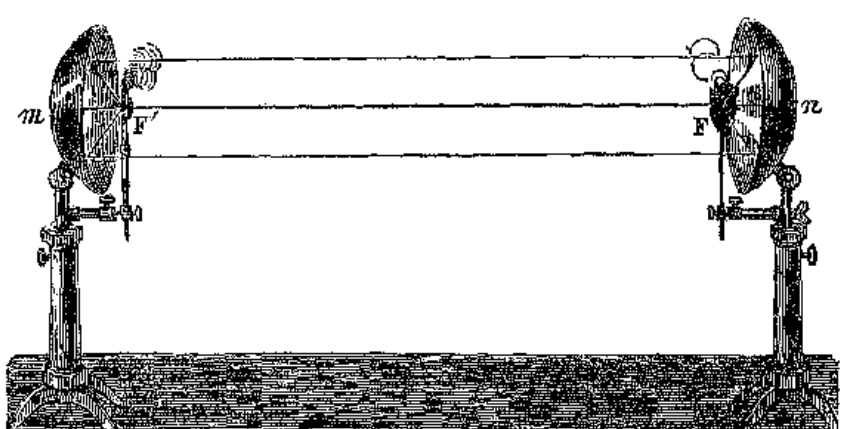
38. Параболическія зеркала. — Законы отраженія теплорода можно доказать, и не ссылаясь на свойства свѣта, посредствомъ способа, основаннаго на употребленіи вогнутыхъ параболическихъ зеркалъ, т.-е. полированныхъ поверхностей, имѣющихъ видъ параболоида вращенія. Если отъ точки параболы провести, параллельно оси, прямую Sm (фиг. 24), а другую mf проходящую чрезъ фокусъ кривой, то на основаніи свойствъ параболы, уголъ составленный этими двумя прямыми, раздѣлится нормальною mn въ этой точкѣ на двѣ равныя части и обратно, если изъ фокуса провести къ точкѣ m на кривой прямую fm и изъ этой точки провести параллельную оси параболоида mS, то уголъ Smn будетъ равенъ углу fmn и прямая эта будетъ въ одной плоскости съ этимъ послѣднимъ угломъ Такимъ-образомъ, если въ фокусѣ параболическаго зеркала расположить точку испускающую лучи теплорода и если отраженные зеркаломъ лучи составятъ пучокъ теплорода, параллельный оси зеркала, то изъ этого мы должны будемъ заключить, что отраженіе совершилось на основаніи вышеприведенныхъ законовъ.

фиг. 24.



Обратно, если направить на зеркало пучокъ лучей, параллельныхъ его оси, то лучи эти послѣ отраженія должны будутъ пересѣчься на оси зеркала. Всѣ эти выводы согласны съ опытомъ, который производятъ слѣдующимъ образомъ: на разстояніи отъ 30 до 40 футовъ ставятъ одно противъ другаго, два параболическія зеркала m и n фиг. 25, обыкновенно изъ латуни, такимъ-образомъ, чтобы оси

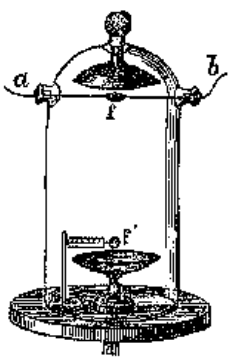
фиг. 25.



зеркалъ совпадали. Въ фокусѣ F одного изъ нихъ кладутъ раскаленный уголь, заключенный въ корзиночкѣ изъ желѣзной проволоки, а въ фокусѣ F другаго, ставятъ легко воспламеняющее тѣло — напримѣръ трутъ или гремучую хлопчатую бумагу По прошествіи нѣсколькихъ секундъ тѣло это загорается. Опытъ не удается, если легковоспламеняемое тѣло находится внѣ фокуса зеркала Если въ фокусъ F положить маленькій раскаленный шарикъ, а въ фокусъ F помѣстить резервуаръ небольшаго термометра, то сей послѣдній поднимется только въ томъ случаѣ, когда онъ будетъ установленъ съ большою точностію въ фокусѣ. Наконецъ, поставивъ свѣчу въ фокусѣ F, увидимъ, что точка, въ которой пересѣкаются лучи свѣта совпадаетъ съ точкою F.

Отраженіе въ пустомъ пространствѣ. Законы отраженія не зависятъ отъ присутствія воздуха, ибо предъидущій опытъ равно удается и въ пустомъ пространствѣ, какъ это доказалъ Гомфри Дэви (H. Davy). Два параболическія зеркала (фиг 26) поставлены одно надъ другимъ подъ колоколъ, изъ котораго вытягиваютъ воздухъ

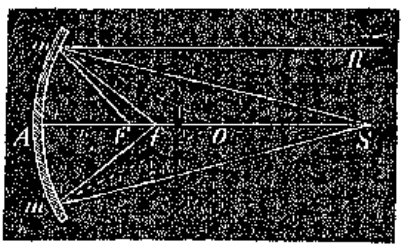
фиг. 26.



Въ фокусѣ f' нижняго зеркала помѣщенъ шарикъ термометра, а въ фокусѣ f другаго зеркала, находится весьма тонкая свернутая платиновая проволока, припаянная къ двумъ болѣе толстымъ мѣднымъ проволокамъ a и b, выступающимъ изъ колокола чрезъ два боковыя отверстія. Пропуская гальваническій токъ чрезъ проволоку a b, часть f накаливается и термометръ тотчасъ же поднимается.

39 Свойства сферическихъ зеркалъ. — Вогнутыя сферическія зеркала также могутъ служить для обнаруженія слѣдствій изъ законовъ отраженія, такъ, что повѣряя эти слѣдствія на опытѣ, мы получаемъ новое доказательство справедливости законовъ

фиг 27.



Пусть S (фиг 27) точка издающая теплородъ. Соединивъ точку S съ центромъ кривизны зеркала o, получимъ то, что называютъ *осью зеркала* относительно точки S. Проведемъ падающій лучъ $S\,m$, встрѣчающій въ точкѣ m полированную поверхность сферическаго зеркала $m\,m'$. лучъ этотъ отразится по направ-

ленію mf, образовавъ уголъ $omf = Smo$ и пересѣчетъ ось So въ точкѣ f. Мы докажемъ, что точка встрѣчи f будетъ для всѣхъ отраженныхъ лучей, истекающихъ изъ S, одна и та же, если дугу mm' принимать безконечно малою относительно радіуса Ao. Для этого вычислимъ разстояніе fA.

Такъ-какъ уголъ вершины треугольника Smf раздѣленъ пополамъ нормальною mo, то $mf : mS = of : oS$. Означимъ чрезъ p разстояніе $SA = Sm$, по причинѣ незначительности дуги Am,—чрезъ p' разстояніе fA равное по той же причинѣ fm и, наконецъ, чрезъ r радіусъ Ao, вышеномянутая пропорція превратится въ

$$p' : p = r - p' : p - r,$$

взявъ произведеніе крайнихъ и среднихъ членовъ и раздѣливъ все на $pp'r$ получимъ.

$$\frac{1}{p'} + \frac{1}{p} = \frac{2}{r}.$$

Это и есть формула для сферическихъ зеркалъ. Изъ этой формулы выводятъ величину p' или разстоянія fA, и мы видимъ, что разстояніе это не зависитъ отъ положенія точки m и, слѣдовательно, нетолько для луча Sm, но и для всякаго другаго падающащаго луча, будетъ то же самое. Еслибы центръ издающій теплородъ былъ въ точкѣ f, то очевидно, отраженные лучи образовали бы на основаніи законовъ отраженія, фокусъ въ точкѣ S. По этой причинѣ точки S и f называются сопряженными фокусами

Въ дѣйствительности дуга mm' не можетъ быть безконечно-малою; но если дуга эта очень мала, относительно радіуса oA, т.-е. составляетъ только незначительное число градусовъ, то выведенныя нами свойства подтверждаются на дѣлѣ довольно приблизительно и пространство, въ которомъ пересѣкаются отраженные лучи, будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ дуга mm' будетъ заключать меньшее число градусовъ. Опытъ подтверждаетъ всѣ эти выводы. Когда источникъ теплорода, находящійся предъ зеркаломъ, занимаетъ довольно большое пространство, тогда каждая точка источника имѣетъ свою особую ось и образуетъ на этой оси соотвѣтствующій сопряженный фокусъ. Пространство, на которомъ можно помѣстить термометръ, имѣетъ слѣдовательно величину соотвѣтственную величинѣ нагрѣвающаго тѣла.

Главный фокусъ. Въ частномъ случаѣ параллельныхъ лучей, ось

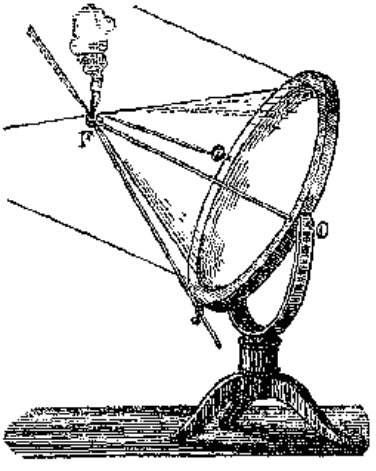
есть ни что иное, какъ лучъ проходящій чрезъ центръ o. Тогда $p = \infty$ и формула дастъ:

$$p' = \frac{1}{2} r,$$

т.-е., что фокусъ находится на серединѣ радіуса кривизны. Выводъ этотъ можно доказать иначе: пусть Rm лучъ параллельной оси oA и mF соотвѣтствующій отраженный лучъ. Треугольникъ omF, есть равнобедренный, потому-что уголъ moF равенъ углу Rmo какъ углы соотвѣтствующіе, уголъ же omF равенъ углу Rmo по законамъ отраженія. Сторона oF равна слѣдовательно, сторонѣ mF, а какъ, — предполагая дугу Am безконечно-малою—mF равна AF, то F и будетъ середина радіуса Ao. Фокусъ F, образуемый параллельными лучами, называется *главнымъ фокусомъ* сферическаго зеркала Если же точка издающая теплоту находится въ главномъ фокусѣ, то отраженные лучи образуютъ пучокъ параллельный оси FO, откуда слѣдуетъ, что опытъ съ двумя зеркалами можетъ быть сдѣланъ и съ зеркалами сферическими. Опытъ этотъ, который Нолле Nollet) приписываетъ прагскимъ іезуитамъ, давно уже извѣстенъ подъ названіемъ опыта *сопряженныхъ зеркалъ* Никто первый производилъ его съ темнымъ теплородомъ; въ одномъ изъ фокусовъ онъ помѣстилъ сосудъ наполненный кипяткомъ.

40 Зажигательныя зеркала. — Если направить лучи солнца на вогнутое сферическое зеркало, то они соединяются послѣ отраженія въ главномъ фокусѣ, потому-что лучи солнца почти совершенно параллельны, по причинѣ большаго отдаленія этого свѣтила. Горючія вещества, помѣщенныя въ этомъ фокусѣ, вскорѣ воспламеняются, если только зеркало имѣетъ отверстіе не менѣе 8 до 12 дюймовъ. Стеклянныя зеркала, подведенныя ртутью, дѣйствуютъ гораздо сильнѣе зеркалъ металлическихъ. Когда зеркало имѣетъ большое отверстіе и въ то же время большой радіусъ кривизны, дабы удовлетворять условію дуги съ небольшимъ числомъ градусовъ, то оно можетъ плавить

Фиг. 28.



металлы, земляристыя вещества и т. д. Фиг. 28-я представляетъ зажигательное зеркало, употребляемое для опытовъ этого рода. Въ точкѣ F имѣется подставка для поддерживанія веществъ, подвергаемыхъ дѣйствію солнечныхъ лучей, сосредоточенныхъ въ фокусѣ Изъ зажигательныхъ зеркалъ, наиболѣе извѣстныхъ, мы назовемъ зеркало, устроенное Чирнгаузеномъ (Tschirnhausen) около 1687 г.; оно сдѣлано изъ довольно тонкой мѣди, для избѣжанія большаго вѣса, его радіусъ кривизны равняется 7,6 фута, а отверстіе 5,7 фута. Въ фокусѣ этого зеркала дерево загорается мгновенно; вода, заключенная въ глиняномъ сосудѣ, вскорѣ закипаетъ и превращается въ пары; мѣдь, серебро плавятся въ нѣсколько минутъ; сланецъ обращается въ черное стекло, которое можно вытягивать въ нити; кирпичъ, пемза, тигели плавятся и принимаютъ видъ стекла. Берньеръ (Bernière) въ 1757 г. устроилъ для короля вогнутое зеркало изъ стекла подведеннаго ртутью съ отверстіемъ въ 3,6 фута; а въ фокусѣ этого зеркала серебро, и даже желѣзо, плавились въ нѣсколько секундъ, кремни становились мягкими и плавились какъ стекло. Зеркала эти дѣлали также изъ полированнаго дерева, другія покрывали пластинками изъ соломы. Маріоттъ воспламенялъ порохъ помощью зеркала сдѣланнаго изъ льда, полученнаго отъ воды, изъ которой предварительно былъ вытянутъ воздухъ. Устраивали также зажигательныя зеркала параболическія; лучи въ нихъ сосредоточиваются болѣе совершеннымъ образомъ въ одной точкѣ, но они представляютъ то неудобство, что требуютъ, чтобы лучи были совершенно параллельны оси параболоида, что трудно достигнуть по причинѣ движенія солнца.

Свойства зажигательныхъ зеркалъ были извѣстны древнимъ. Кто не слышалъ разсказа о томъ, какъ Архимедъ сжигалъ суда Римлянъ осаждавшихъ Сиракузы, а Проклъ въ 514 г. суда Виталійцевъ осаждавшихъ Византію. Впослѣдствіи справедливость этихъ фактовъ была подвержена сомнѣнію, въ-особенности Декартомъ. Замѣтили, что Полибій, 50 лѣтъ спустя послѣ Архимеда, вовсе не упоминаетъ объ этомъ обстоятельствѣ, о которомъ не говорятъ также ни Титъ Ливій, ни Плутархъ. Уже гораздо позже, въ XII столѣтіи, Зонарасъ (Sonaras) и Цетзе распространили это извѣстіе. Хотя Галіенъ, жившій ближе ко времени Архимеда, и говоритъ, что этотъ великій геометръ сжигалъ суда непріятеля, но употребленное имъ слово *пыріа* (πυρια) не означаетъ именно зажигательнаго зеркала, а просто *машину для зажиганія*. А какъ Архимедъ училъ о зажигательныхъ зеркалахъ,

а также и сжегъ флотъ, то оба эти обстоятельства и были вѣроятно смѣшаны. Мы полагаемъ, что на основаніи выраженій Зонараса *). можно допустить, что Архимедъ употреблялъ зажигательное зеркало для воспламененія горючихъ веществъ, которыя онъ бросалъ потомъ на суда; зеркало служило только удобнымъ средствомъ, чтобы добыть огонь. Правда, что Цетзе въ стихахъ своихъ описываетъ снарядъ, составленный изъ плоскихъ зеркалъ на подставкахъ съ шариньерами; зеркала эти, какъ онъ говоритъ, Архимедъ располагалъ такъ, чтобы они составляли касательныя плоскости одного и того же шара. Но нельзя ли въ этомъ просто видѣть желанія, легко объяснимаго въ поэтѣ, описать способъ дѣйствія, которому бы должно было слѣдовать для совершенія факта, принятаго прежде всего за достовѣрный. Ктому же развѣ не было множества другихъ средствъ зажечь суда, расположенныя на разстояніи доступномъ фокусу зажигательнаго зеркала? Какъ бы то ни было, возможность дѣйствія, приписываемаго Архимеду, въ настоящее время не подлежитъ болѣе сомнѣнію. Кирхеръ, руководимый описаніемъ Цетзе, дѣлалъ опытъ съ пятью плоскими зеркалами, расположенными такъ, чтобы отраженные лучи собирались въ одной и той же точкѣ; жаръ произведенный этими зеркалами былъ невыносимъ на разстояніи 100 футовъ. Задолго до того, Антемій (Anthemius), архитекторъ собора св. Софіи въ Константинополѣ, по поводу спора о повѣствованіи объ Архимедѣ, предпринялъ устройство машины изъ 24 плоскихъ зеркалъ, которыя можно было располагать такимъ-образомъ, чтобы отраженные лучи встрѣчались всѣ въ той же точкѣ; въ точкѣ этой Антемій зажигалъ дерево. Зеркала эти онъ давалъ также держать людямъ, которые ихъ могли направлять по желанію.

Бюффонъ достигъ результатовъ еще болѣе замѣчательныхъ; онъ не зналъ опытовъ произведенныхъ до него и вообще слыветъ за изобрѣтателя *членистыхъ зеркалъ* (miroirs articulés). Машина имъ устроенная состояла изъ 100 плоскихъ обыкновенныхъ стеклянныхъ зеркалъ, вдѣланныхъ на шариньерахъ въ раму, такъ, что въ совокупности они имѣли видъ сферической поверхности. Машина эта представляла вогнутое зеркало, разстояніе фокуса котораго можно было

---

*) «Архимедъ, говоритъ Зонарасъ, принявъ лучи солнца на зеркало, *воспламенилъ воздухъ* помощью этихъ лучей собранныхъ и отраженныхъ толщею и гладкою поверхностью зеркала, и *зажегъ большое пламя, которое онъ бросилъ шиллиномъ на суда стоявшія въ сферѣ его дѣйствія*».

измѣнять по произволу. Посредствомъ этого снаряда Бюффонъ плавилъ свинецъ на разстояніи 140 футовъ и серебро на разстояніи 100 футовъ. Дерево загоралось на разстояніи 200 футовъ.

§ 2. О прохожденіи теплорода чрезъ наружную поверхность тѣлъ.

41. Охлажденіе и нагрѣваніе тѣла зависятъ: 1-е, отъ различія между температурою тѣла и температурою окружающей его средины; 2-е, отъ бо́льшей или меньшей легкости, съ которою теплота перемѣщается внутри тѣла, 3-е, наконецъ, отъ удобства, съ которымъ теплота проходитъ чрезъ эту поверхность при входѣ въ тѣло и при выходѣ изъ него. Мы займемся сначала явленіями, наблюдаемыми при этомъ послѣднемъ прохожденіи теплорода чрезъ поверхность тѣлъ, не обращая вниманія на прочія обстоятельства или уничтоживъ вліяніе ихъ.

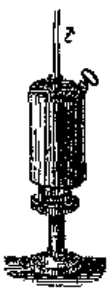
Законъ Ньютона или *Рихмана.* Опыты произведенные по этому предмету основываются на законѣ, который мы разсмотримъ впослѣдствіи, но теперь только на него укажемъ. Законъ этотъ состоитъ въ слѣдующемъ: *Скорость охлажденія или нагрѣванія тѣла пропорціональна разности между температурою тѣла и температурою окружающей его средины. Скоростью* называютъ измѣненіе температуры въ единицу времени, которая избирается столь малая, чтобы потерю или прибыль теплоты, впродолженіи этой единицы времени, можно было считать равномѣрными. Но законъ этотъ, изложенный Ньютономъ, только приблизительно вѣренъ, и можетъ считаться удовлетворительно-точнымъ только для температуръ, которыхъ разности не превышаютъ 20° и если притомъ бо́льшая изъ температуръ не превышаетъ 40°. Законъ этотъ извѣстенъ подъ названіемъ *закона Ньютона* или *закона Рихмана*, такъ-какъ Рихманъ старался доказать этотъ законъ посредствомъ опыта.

I. Испускательная способность.

42. Найдено, что время, употребляемое тѣломъ для охлажденія на одно и то же число градусовъ, зависитъ отъ свойства его поверхности. Румфортъ бралъ два совершенно одинаковые цилиндрическіе сосуда, которые онъ привѣшивалъ на шнуркахъ или располагалъ на трехъ

деревянныхъ остріяхъ для того, чтобы теплота не могла теряться посредствомъ подставки (фиг. 29).

Фиг. 29



Боковая поверхность одного изъ этихъ сосудовъ, наполненныхъ кипяткомъ, была покрыта тонкимъ полотномъ; боковая же поверхность другаго была оставлена непокрытою. Въ каждомъ изъ сосудовъ находился термометръ для означенія температуры воды. Наблюдая время употребленное каждымъ термометромъ для пониженія на 1°, Румфортъ нашелъ, что сосудъ оставленный непокрытымъ, охлаждался гораздо медленнѣе другаго. Покрывая одинъ изъ цилиндровъ различными веществами, Румфортъ равнымъ-образомъ увидѣлъ, что потеря теплорода совершается со скоростію, зависящею отъ этихъ веществъ, и что самое быстрое охлажденіе было при поверхности покрытой сажею. Состояніе наружной поверхности тѣла имѣетъ, слѣдовательно, замѣтное вліяніе на прохожденіе теплорода. *Испускательною* или *лучеиспускательною способностію* называютъ бо́льшую или мѐньшую способность вещества пропускать теплородъ наружу.

43. *Опытъ Лесли* (Leslie). Въ 1804 г. за нѣсколько недѣль до обнародованія опытовъ Румфорта, въ «*Philosophical transactions*» Лесли, въ своихъ изслѣдованіяхъ о существѣ теплорода, изложилъ опыты, сдѣланные имъ по тому же предмету, но по методѣ болѣе предпочтительной, потому-что въ опытахъ Румфорта охлажденіе зависитъ не отъ одного только лучеиспусканія, но и отъ прикосновенія воздуха.

Вліяніе этого прикосновенія съ очевидностью явствуетъ изъ нѣкоторыхъ опытовъ, произведенныхъ Лесли по способу Румфорта. Лесли нашелъ что два шара изъ площеннаго олова, наполненные кипяткомъ, изъ которыхъ одинъ былъ обнаженъ, а другой покрытъ сажею, употребили слѣдующее время, чтобы понизиться на половину ихъ избытка температуры надъ температурою окружающей средины

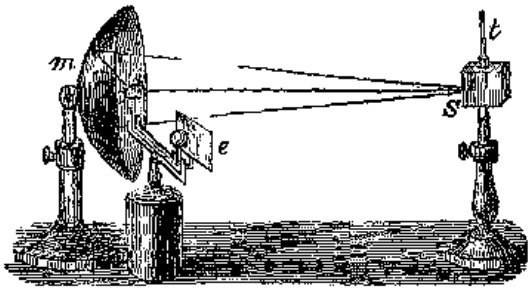
	Шаръ обнаж.	Шаръ вычерн.
При легкомъ вѣтрѣ	44′	35′
При вѣтрѣ довольно сильномъ .	23′	20′,25
При весьма сильномъ вѣтрѣ . . .	9′,5	9′

Изъ опыта этого видно, что дѣйствіе вѣтра изглаживаетъ разность во времени, необходимомъ для произведенія нѣкотораго охлажденія.

Снарядъ Лесли. Снарядъ, придуманный Лесли съ цѣлію устраненія

охлаждающаго дѣйствія воздуха, состоитъ изъ кубическаго сосуда S, наполненнаго кипяткомъ; боковыя стороны этого сосуда покрываются различными веществами, испускательную способность которыхъ хотятъ подвергнуть сравненію. Сосудъ этотъ расположенъ передъ сферическимъ зеркаломъ m (фиг. 30), служащимъ для возможно большаго соединенія лучей на одномъ изъ шариковъ f термоскопа или дифференціальнаго термометра, помѣщенномъ въ сопряженномъ фокусѣ зеркала. Другой изъ шариковъ защищенъ посредствомъ экрана e. Таково устройство *снаряда Лесли*. Требуется доказать, что показанія дифференціальнаго термометра, по достиженію имъ равновѣсія, пропорціональны напряженіямъ теплоты, испускаемой тѣломъ. Изъ всего количества теплоты q испускаемой тѣломъ, зеркало получаетъ часть nq, зависящую отъ отверстія зеркала и отъ разстоянія его до точки S. Зеркало же отражаетъ часть m полученной теплоты nq, т.-е. количество mnq; часть эта и составляетъ количество теплоты, падающей на шарикъ термометра.

Фиг. 30.



Шарикъ отражаетъ часть получаемой имъ теплоты и поглощаетъ нѣкоторую часть p, т.-е. количество $pmnq$, въ которомъ для одного и того же снаряда, числа p, m n, постоянны. Такимъ-образомъ температура шарика, находящагося въ фокусѣ зеркала, возвысится. Но какъ шарикъ тоже лучеиспускаетъ теплоту и по закону Ньютона 41, охлаждается со скоростью пропорціональною избытку температуры этого шарика надъ температурою окружающей среды или другаго шарика, то потеря теплоты, испытываемая шарикомъ въ фокусѣ, увеличиваясь все болѣе-и-болѣе, сравняется наконецъ съ получаемымъ количествомъ. Тогда температура шарика становится постоянною, и показываемый имъ избытокъ пропорціоналенъ количеству потерянной теплоты 41, равняющемуся полученному, т.-е. пропорціоналенъ $pmnq$; но тогда онъ пропорціоналенъ и количеству теплоты q испускаемому кубическимъ сосудомъ, такъ-какъ величины p, m, n постоянны. Деларошъ (Delaroche) доказалъ справедливость этого раз-

ужденія посредствомъ опыта: взявъ два сопряженныя зеркала, и покрывъ сажею до половины, до трехъ четвертей и т. д. то зеркало, въ фокусѣ котораго помѣщался шарикъ термометра, Деларошъ нашелъ, что разности температуры обоихъ шариковъ равнялись половинѣ, четверти, и т. д. разности обнаружившейся при зеркалѣ совершенно блестящемъ. Части же покрытыя сажею, какъ мы увидимъ, не отражаютъ теплорода.

Опыты Лесли. Расположивъ кубическій сосудъ *S* такимъ-образомъ, чтобы одна изъ сторонъ его была перпендикулярна къ прямой проходящей чрезъ центръ фигуры сосуда и центръ кривизны зеркала, Лесли попеременно покрывалъ эту сторону различными веществами и посредствомъ показаній термоскопа сравнивалъ лучеиспускательную способность этихъ веществъ. Рядъ такихъ опытовъ Лесли производилъ по нѣскольку разъ, измѣняя каждый разъ воду въ сосудѣ водою, имѣющею температуру различную отъ предъидущей, и располагая попеременно, то на той, то на другой сторонѣ пластинки, лучеиспусканіе которыхъ желали подвергнуть сравненію. Такимъ-образомъ было доказано, что дѣйствія лучеиспусканія зависятъ только отъ наружной поверхности лучеиспускающаго тѣла.

Слѣдующая таблица показываетъ главнѣйшіе выводы полученные Лесли. Число 100 выражаетъ испускательную способность сажи, вещества наиболѣе одареннаго лучеиспусканіемъ и съ способностью котораго сравниваютъ лучеиспусканіе другихъ веществъ:

Сажа	100	Сурикъ	80
Вода	100	Свинцовая руда	75
Писчая бумага	98	Свинецъ тусклый	45
Сургучъ	95	Свинецъ блестящій	19
Стекло (кронгласъ)	90	Ртуть	20
Китайская тушь	88	Желѣзо полированное	15
Ледъ	85	Олово, серебро, мѣдь, золото.	12

Термомультипликаторъ Меллони также можетъ служить для сравненія лучеиспускательныхъ способностей. Предъ однимъ концомъ термоэлектрической цѣпи ставятъ кубическій сосудъ, наполненный кипяткомъ, и боковыя стороны сосуда покрываютъ различными веществами, которыхъ испускательную способность хотятъ подвергнуть сравненію; отклоненія стрѣлки мультипликатора показываютъ различныя увеличенія температуры, испытываемыя термо-

электрическою цѣпью Посредствомъ этого способа получили слѣдующіе результаты:

Сажа	100	Китайская тушь	85
Свинцовыя бѣлилы . .	100	Гумми-лакъ	72
Рыбій клей	91		

Выводы эти показываютъ, что сажа, бумага, стекло, свинцовыя бѣлилы, обладаютъ почти одинаковою испускательною способностью; цвѣтъ, твердость и прозрачность тѣлъ не имѣютъ, слѣдовательно, повидимому, никакого вліянія на эту способность.

Металлы, потускнѣвшіе отъ дѣйствія воздуха, лучеиспускаютъ сильнѣе, нежели тѣ же металлы будучи блестящими; въ этомъ видѣ они представляютъ тѣла обладающія наименьшею испускательною способностью. Впрочемъ лучеиспусканіе зависитъ только отъ верхняго слоя, ибо разнородныя стѣнки сосуда, на которыя кладутъ различныя вещества подвергаемыя испытанію, не имѣютъ никакого вліянія на произведенное дѣйствіе.

44. Испускательная способность металловъ. Число 12, найденное Лесли, для обозначенія испускательной способности золота, мѣди, серебра и олова, слишкомъ велико, какъ это показали опыты де-ла Провостэ (de-la Provostaye) и Дезёна (Desains), изложенные въ пространной запискѣ объ этомъ предметѣ *). Опыты свои они производили съ помощью термомультипликатора и нашли во-первыхъ, что посеребренная поверхность только едва отклоняетъ стрѣлку мультипликатора, тогда-какъ та же поверхность, покрытая сажею и при одной и той же температурѣ, отклоняетъ стрѣлку на 60°. На основаніи своихъ опытовъ Дезёнъ и де-ла Провостэ нашлись вынужденными придумать особый способъ для полученія съ посеребренною поверхностью отклоненій болѣе значительныхъ и чтобы въ то же время соотвѣтствующія отклоненія, для поверхности покрытой сажею, не выходили изъ предѣловъ градусныхъ таблицъ мультипликатора (30).

Первый изъ употребленныхъ ими способовъ состоитъ въ томъ, что пучокъ теклородныхъ лучей пропускаютъ чрезъ отверстіе экрана, которое можно увеличить или уменьшить по желанію, и находятъ, на сколько уменьшится отклоненіе мультипликатора, когда отверстіе будетъ въ n разъ меньше. Если пропорція эта, положимъ, будетъ m,

*) Annales de chimie et de physique, 3-e Série, t. XXII, p. 372.

то поверхность, покрытая сажею, производящая отклоненіе d при отверстіи въ n разъ меньшемъ, произвела бы отклоненіе md, еслибы испускаемые ею лучи проходили чрезъ отверстіе совсѣмъ открытое. Отклоненіе, произведенное поверхностью, покрытою сажею, можно такимъ-образомъ уменьшить до того, что оно становится доступнымъ для наблюденія; потомъ вычисляютъ, чему бы равнялось это отклоненіе при отверстіи равномъ тому, чрезъ которое были пропущены лучи отъ металлической поверхности.

Второй способъ состоитъ въ слѣдующемъ: пусть δ и δ' отклоненія, произведенныя одною и тою же поверхностью, покрытою сажею и имѣющею попеременно t° и t'° температуры, при температурѣ θ окружающей средины. Изъ опыта получается приблизительно слѣдующая пропорція.

$$\delta \cdot \delta' = a^{t-\theta} - 1 \cdot a^{t'-\theta} - 1,$$

если принять $a = 1{,}009$, и если температуры были ниже 160°. Итакъ отклоненіе δ, произведенное поверхностью, покрытою сажею, можно наблюдать при незначительной температурѣ t и по наблюдаемому отклоненію, помощью приведенной пропорціи, можно вычислить отклоненіе, которое произвела бы та же поверхность при температурѣ t'. Найденные этими двумя способами результаты для испускательныхъ способностей различныхъ тѣлъ, отнесенныхъ къ сажѣ, испускательная способность которой выражена числомъ 100— суть слѣдующіе

Самородное серебро, плющенное	3,00	Серебро накладное . .	2,05
Тусклое серебро, химически осажден на мѣди	5,36	Платина, плющенная .	10,80
Чистое серебро полир	2,50	Платина полированная	9,50
Серебро, химически осажденное полированное	2,25	Золото въ листахъ .	4,28
		Мѣдь въ пластинкахъ .	4,90

Меллони получилъ приблизительно тѣ же результаты для испускательной способности серебра, путемъ совершенно различнымъ: онъ сравнивалъ постоянныя температуры двухъ термометровъ, изъ которыхъ одинъ былъ покрытъ сажею, а другой серебрянымъ листомъ и которые лучеиспускали теплоту въ пространствѣ во время ясной ночи.

45. Вліяніе полировки. — При произведеніи опытовъ Лесли на-

шелъ, что полированный металлъ имѣетъ мѐньшую испускательную способность, нежели металлъ исчерченный въ одномъ какомъ-либо направленіи, и что испускательная способность еще болѣе усиливается, когда поверхность металла исчерчена въ различныхъ направленіяхъ. Лесли заключилъ изъ этого, что неровности, покрывающія шероховатую поверхность, имѣютъ особенное свойство содѣйствовать испусканію теплоты. Меллони *, опровергъ это мнѣніе и доказалъ, что результаты полученные Лесли, произошли отъ совершенно другаго обстоятельства, не имѣющаго ничего общаго съ присутствіемъ или отсутствіемъ этихъ неровностей. Меллони покрылъ стороны металлическаго куба, наполненнаго кипяткомъ, двумя пластинками изъ слоновой кости и двумя другими изъ гагата; пластинки были вставлены въ пазы и прижаты къ стѣнкамъ сосуда посредствомъ пружинъ. Одна изъ пластинокъ каждой пары была полированная, другая исчерчена въ различныхъ направленіяхъ. Несмотря на это, не было однако никакого различія между дѣйствіями однородныхъ пластинокъ на термомультипликаторъ. Выдолбленный мраморный кубъ далъ одни и тѣ же результаты для всѣхъ четырехъ боковъ, изъ которыхъ одинъ былъ полированный, другой—матовый, третій—исчерченный въ одномъ направленіи и послѣдній въ двухъ перпендикулярныхъ между собою направленіяхъ. Но какъ вещества эти обладаютъ значительными испускательными способностями—93 и 98,—которыя, слѣдовательно, не могли замѣтнымъ образомъ увеличиваться, то Меллони повторилъ свои опыты надъ металлами. Онъ взялъ кубъ, боковыя стѣнки котораго состояли изъ четырехъ серебряныхъ пластинокъ, спаянныхъ на углахъ. Двѣ изъ нихъ были кованныя, а двѣ другія литыя и медленно охлажденныя; всѣ же четыре были отполированы посредствомъ пемзы и угля. На одной изъ кованныхъ и на одной изъ литыхъ, были проведены бороздки въ одномъ только направленіи и опытъ показалъ слѣдующія отклоненія стрѣлки мультипликатора:

Пластинка кованная полиров.	10°	Пластинка литая полир. . .	13,7
» » исчерч.	18°	» » исчерч .	11,3

Итакъ, мы видимъ, что бороздки увеличили испускательную способность кованной пластинки, что согласно съ выводами Лесли, но для пластинки изъ литаго серебра, результатъ былъ обратный. И-

*) Annales de chimie et de physique, 2 série, t. LXV.

такъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ можно уменьшить испускательную способность, если провести бороздки на поверхности тѣлъ.

Изъ опытовъ этихъ Меллони заключилъ, что найденная Лесли бо́льшая испускательная способность для металловъ покрытыхъ бороздками, произошла отъ того, что Лесли употреблялъ плющеныя пластинки, и что такимъ-образомъ обѣ поверхности ихъ составляли слои болѣе плотные, нежели внутренніе лежащіе между ними. Производя бороздки на пластинкѣ, обнажаютъ чрезъ то части менѣе плотныя, что́ увеличивается еще болѣе съ увеличеніемъ числа бороздокъ. Сверхъ-того, бороздки дозволяютъ наружной поверхности свободнѣе расширяться, повинуясь своей упругости, отчего плотность этой поверхности уменьшается. Гагатъ, мраморъ, слоновая кость, какъ неспособные къ ковкѣ, даютъ одинаковые результаты, какъ для полированныхъ, такъ и для шероховатыхъ поверхностей. Литое же серебро, покрытое бороздками, испускаетъ теплоту слабѣе, потому-что твердое вещество, употребляемое для проведенія бороздокъ, сжимаетъ на днѣ ихъ частицы металла, увеличивая такимъ-образомъ плотность сего послѣдняго.

46. Вліяніе толщины.—Металлы, употребленные въ видѣ чрезвычайно тонкихъ листовъ, лучеиспускаютъ съ тою же силою, какъ и металлы значительной толщины. Изъ этого однако не слѣдуетъ заключать, что толщина этихъ листовъ не имѣетъ никакого вліянія, ибо съ одной стороны испускательная способность металловъ до того незначительна, что разности въ оной легко ускользаютъ отъ наблюденія, а съ другой стороны есть вещество, гдѣ вліяніе толщины наружнаго слоя очевидно. Лесли покрылъ двѣ стороны кубическаго сосуда тонкими слоями клея, и именно такимъ-образомъ, что одна изъ сторонъ была покрыта однимъ слоемъ, другая четырьмя. Опытъ показалъ, что первая изъ сторонъ заставила термометръ, помѣщенный въ фокусѣ зеркала, подняться до 20°,11, другая довела его до 30°. Съ умноженіемъ числа слоевъ, увеличивалось лучеиспусканіе, что́ продолжалось до-тѣхъ-поръ, пока толщина всего слоя не достигла 0^{m},25; послѣ чего прибавленіе числа слоевъ уже не измѣняло болѣе результата Тонкій слой оливковаго масла заставилъ термометръ повыситься до 28°; и умножая число слоевъ, доводили дѣйствіе это до 32°,77. Камедь, смола, легко растворимыя въ алькоолѣ, а слѣдовательно доступныя употребленіе въ видѣ тончайшихъ слоевъ,—даютъ подобные же результаты

Меллони подтвердилъ эти выводы помощью гермомультиплика-

тора. Передъ однимъ концомъ термоэлектрической цѣпи, Меллони ставилъ кубическій сосудъ, наполненный горячею водою и покрывалъ одну изъ его сторонъ постепенно нѣсколькими слоями лака. Испускательная способность возрастала до-тѣхъ-поръ, пока слой лака не достигнулъ толщины 0^{mm}, 0434 *). Меллони показалъ также, что листовое золото различной толщины, покрывающее стѣнки стекляннаго куба, безъ различія уменьшаетъ испускательную способность на одно и то же количество.

47. Ипотеза о частичномъ лучеиспусканіи. — На основаніи предъидущаго, кажется можно допустить, что испусканіе теплородныхъ лучей начинается, какъ это принимаетъ Фурье (Fourtier), на извѣстной глубинѣ отъ поверхности тѣла. При весьма незначительной толщинѣ наружнаго слоя, теплородные лучи испускаются частицами металла, на который наведенъ слой, и въ то же время частицами сего послѣдняго. Но съ увеличеніемъ толщины наведеннаго слоя, все болѣе-и-болѣе уменьшается число металлическихъ частицъ, издающихъ теплородъ наружу и какъ испускательная способность металловъ гораздо слабѣе той же способности лака, то становится понятнымъ, почему лучеиспусканіе увеличивается съ утолщеніемъ слоя покрывающаго металлическую стѣнку сосуда. Увеличеніе это продолжается до-тѣхъ-поръ, пока толщина наружнаго слоя не возрастетъ до того, что лучи испускаемые металлическою пластинкою будутъ совершенно преграждены частицами лака.

Явленія эти можно объяснить предположивъ, что каждая частица твердаго тѣла испускаетъ теплородные лучи по всѣмъ направленіямъ, съ напряженіемъ зависящимъ отъ температуры тѣла, а можетъ-быть также и отъ особенныхъ свойствъ его. Часть этихъ лучей можетъ проникать наружу, когда частица находится столь близко къ поверхности, что лучеиспусканіе этой частицы не преграждается лежащими выше нея частицами. Чѣмъ глубже расположена частица, тѣмъ мѐньшее количество лучеиспускаемой ею во всѣ стороны теплоты проникаетъ наружу. Это именно и составляетъ *ипотезу частичнаго лучеиспусканія*. На основаніи этой ипотезы слѣдуетъ, что

*) Чтобы вычислить толщину этого слоя, взвѣшиваютъ пластинку, которую покрываютъ тѣмъ же числомъ слоевъ, какъ и сторону кубическаго сосуда. Такимъ-образомъ легко опредѣлить вѣсъ слоя лака, откуда получаютъ объемъ, раздѣливъ вѣсъ на плотность лака въ твердомъ состояніи. Толщина будетъ высота прямой призмы, имѣющей основаніемъ поверхность пластинки.

вещества наиболѣе плотныя должны имѣть вообще самую слабую испускательную способность, что и дѣйствительно подтверждается на дѣлѣ (43) и что, увеличивая плотность тѣла, уменьшаютъ его испускательную способность. Послѣднее обстоятельство въ свою очередь подтверждается опытами, произведенными де-ла Провостэ и Дезевомъ надъ металлами кованными и не кованными; эти опыты и показали, что полированное серебро обладаетъ мѣньшею испускательною способностью, нежели серебро химически осажденное (44).

48. Теорія Меллони.— Меллони, сближая всѣ эти факты, заключилъ, что испускательная способность вовсе не зависитъ отъ особеннаго свойства веществъ, а только отъ глубины слоя частицъ, испускающихъ лучи наружу, такъ, что еслибы у всѣхъ тѣлъ слой этотъ имѣлъ одинаковую толщину, то лучеиспускательная способность всѣхъ тѣлъ была бы одинакова. Эта остроумная теорія неожиданно подтвердилась опытами, произведенными Массономъ и Куртэпѐ (Masson et Courtépée) *) и показавшими, что различныя вещества, превращенныя въ мелкій порошокъ, имѣютъ одну и ту же испускательную способность. Вещества эти, полученныя путемъ химическаго осажденія, были растворены въ водѣ, содержащей нѣсколько клея и наведены на одну изъ сторонъ кубическаго сосуда, наполненнаго кипяткомъ; передъ сосудомъ была поставлена термоэлектрическая цѣпь. Изъ двадцати различныхъ веществъ, шестьнадцать **) испускали столько же теплоты, какъ и сажа. Испускательная способность четырехъ остальныхъ (киноварь, сѣрнистый кадмій, серебро, зеленая окись хрома, сурикъ) была нѣсколько слабѣе; но первое изъ этихъ веществъ не есть химическій осадокъ, а прочія были накалены, для сообщенія имъ сцѣпленія. Что же касается серебра, то оно всегда сохраняло металлическій блескъ, обстоятельство доказывающее, что серебро это не было измельчено въ совершенный порошокъ

49 Испускательная способность газовъ. — Газы имѣютъ весьма слабую испускательную способность, въ чемъ можно убѣдиться, приблизивъ къ пламени водороднаго газа, имѣющему весьма

---

*) Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences, tome 25.

**) Вотъ названіе этихъ веществъ: жженая сажа изъ слоновой кости, окись кобальта, сѣрнокислый свинецъ, хлорная сурьма, бѣлилы, сѣрнокислый баритъ, платина, хромокислый свинецъ, сѣрнокислая известь, глиноземъ, кремнеземъ, берлинская лазурь, углекислый баритъ, углекислая окись цинка, фосфорнокислая известь.

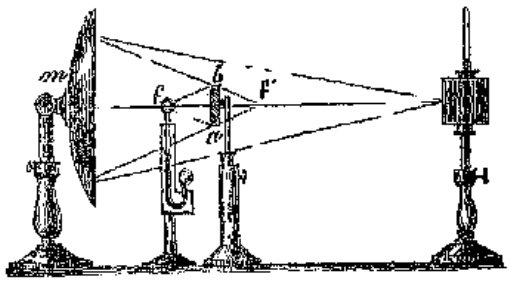
высокую температуру, одинъ изъ шариковъ термоскопа,—дѣйствія не будетъ никакого или оно будетъ ничтожное. Пламя газа употребляемаго для освѣщенія и пламя лампъ лучеиспускаютъ гораздо сильнѣе теплоту, по причинѣ содержащихся въ нихъ раскаленныхъ частицъ угля, придающихъ пламени блескъ. Частицы эти можно собрать, препятствуя совершенному сгоранію ихъ посредствомъ прикосновенія съ какимъ-либо холоднымъ тѣломъ, на которомъ частицы осаждаются въ видѣ сажи Если въ пламя водороднаго газа вставить спираль изъ платиновой проволоки, то платина принимаетъ температуру пламени газа и сильно лучеиспускаетъ теплоту.

II. Отражательная способность.

50. Когда лучи теплорода встрѣчаютъ тѣло, то часть лучей отражается, а другая проходитъ чрезъ поверхность тѣла, причемъ поглощается и нагрѣваетъ его, или же проникаетъ сквозь тѣло, если оно теплопрозрачно. *Отражательною способностью* называютъ бо́льшую или мѐньшую способность тѣла возвращать часть падающей на него теплоты Шэле нашелъ, что различныя вещества имѣютъ различную отражательную способность Бойль (Boyle), устроивъ большое сферическое зеркало изъ чернаго мрамора, не могъ произвести въ фокусѣ этого зеркала воспламененія дерева, тогда-какъ это легко достигается посредствомъ металлическаго зеркала гораздо мѐньшихъ размѣровъ.

Лесли произвелъ множество опытовъ для сравненія отражательной способности различныхъ веществъ. Для этого онъ покрывалъ зеркало своего снаряда (фиг 30) этими веществами и наблюдалъ на термометрѣ, расположенномъ въ фокусѣ зеркала, дѣйствіе произведенное въ различныхъ случаяхъ однимъ и тѣмъ же источникомъ теплорода. Но способъ этотъ неудобенъ и поэтому Лесли придумалъ другой Сравниваемыя вещества располагаютъ поочередно на кругѣ *ab* (фиг. 31) перпендикулярномъ къ оси зеркала *m* и находящимся между симъ послѣднимъ и сопряженнымъ фокусомъ *f'* тѣла испускающаго те-

фиг. 31.



плоту. Понятно, что на основаніи законовъ отраженія, лучи, отраженные поверхностью $a\,b$, соединятся въ точкѣ f симметрической съ f' относительно плоскости $a\,b$. Въ точкѣ f помѣщаютъ одинъ изъ шариковъ гермоскопа и излишекъ температуры этого шарика надъ температурою другаго будетъ пропорціоналенъ количеству теплоты, полученной первымъ шарикомъ, а слѣдовательно количеству теплоты отраженной кругомъ $a\,b$. Излишки температуръ шарика гермоскопа, слѣдовательно, будутъ пропорціональны отражательнымъ способностямъ сравниваемыхъ веществъ, если предположить, что температура источника теплоты и всѣ другія условія всѣхъ частей снаряда будутъ во все время опыта одни и тѣ же. Изображая отражательную способность полированной латуни чрезъ 100, Лесли нашелъ слѣдующее:

Латунь	100	Свинецъ	60
Серебро.	90	Олово наведенное ртутью	10
Олово въ листахъ . . .	85	Стекло.	10
Олово лощеное.	80	Стекло натертое масломъ или воскомъ. . .	5
Сталь.	70	Сажа	0

Такимъ-образомъ мы видимъ, что сажа вовсе не отражаетъ теплоты и что, относительно отражательной способности, тѣла распредѣляются въ порядкѣ обратномъ тому, который Лесли нашелъ для способности испускательной.

51. Вліяніе толщины верхняго слоя. Наводя слои лака на поверхность сферическаго зеркала своего снаряда, Лесли нашелъ, что часть отраженной теплоты уменьшается съ увеличеніемъ числа слоевъ, и что уменьшеніе это продолжается до-тѣхъ-поръ, пока толщина всѣхъ слоевъ вмѣстѣ не достигнетъ $0^{mm},25$; послѣ чего результаты становятся постоянными Напримѣръ, употребляя рыбій клей Лесли нашелъ, что дѣйствіе на термометръ было.

$$127^0,\ 98,\ 93^0,\ 87^0,\ 61^0,\ 39^0,\ 29^0,\ 21^0,\ 15^0,$$

при толщинѣ слоя въ тысячныхъ доляхъ миллиметра

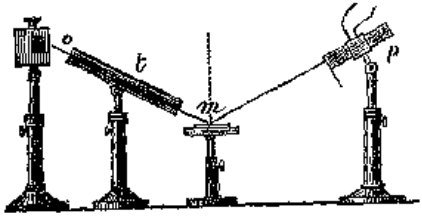
$$0;\ 0{,}06;\ 0{,}25;\ 0{,}50,\ 1{,}35;\ 2{,}7\cdot\ 5{,}4;\ 13{,}5;\ 25.$$

Причину этого явленія объясняютъ предположеніемъ, что отраженіе совершается не только отъ частицъ наружной поверхности, но и отъ лежащихъ подъ ними на извѣстной глубинѣ, косвенно падающіе лучи, проникая въ промежутки между частицами наружной по-

верхности, встрѣчаютъ частицы глубже лежащія и отражаются отъ сихъ послѣднихъ Явленіе это можно было бы также приписать теплопрозрачности лака, дозволяющей проникать теплотѣ до металла и отражаться отъ него, если слой лака не имѣетъ большой толщины; но какъ найденный предѣлъ толщины тотъ же, что и для испускательной способности 46), то предпочтительно слѣдуетъ согласиться съ первымъ объясненіемъ.

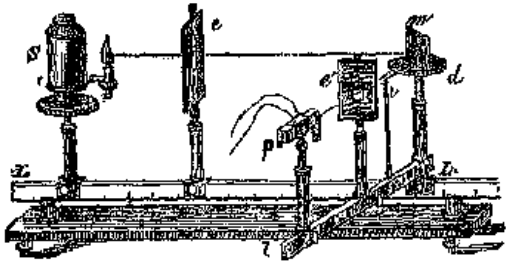
52. Меллони и Нобили употребили термомультипликаторъ для сравненія отражательной способности различныхъ веществъ. Пластинка, предназначенная для отраженія теплородныхъ лучей, помѣщалась въ точкѣ *m* (фиг. 32) въ горизонтальномъ положеніи, — послѣднее обстоятельство давало возможность производить также опыты надъ жидкостями; падающіе лучи были направлены на пластинку чрезъ картонную трубку *t*, вычерченную внутри сажею, и принимались послѣ отраженія однимъ концомъ термоэлектрической цѣпи *p*, которой давали наклонное положеніе. Источникомъ теплоты Нобили и Меллони избрали руку, которую прикладывали къ отверстію *o* трубки *t*. Они нашли, что теплота руки здороваго человѣка почти постоянна впродолженіи нѣсколькихъ часовъ Разности между отклоненіями стрѣлки гальванометра, при перемѣнѣ отражающихъ пластинокъ, служили для сравненія ихъ отражательной способности. Посредствомъ этого способа было найдено, что ртуть лучшій отражатель теплоты; за ртутью слѣдуютъ прочіе металлы, въ порядкѣ указанномъ Лесли.

фиг. 32.



53. Отношеніе между количествомъ падающей и отраженной теплоты. Предыдущіе способы не показываютъ отношеніе между падающею теплотою и отраженнымъ количествомъ оной. Меллони опредѣлилъ это отношеніе, для нѣкоторыхъ веществъ, посредствомъ способа, который мы покажемъ впослѣдствіи. Де-ла Провостэ и Дезёнъ также занимались опредѣленіемъ этого отноше-

фиг. 33.



нія для нѣкоторыхъ металловъ. Черт. 33-й представляетъ употребленный ими снарядъ: отражающая пластинка *m* расположена вертикально на горизонтальномъ раздѣленномъ кругѣ *d*. Кругъ этотъ покоится на вертикальномъ столбикѣ, находящемся въ суставѣ двухъ горизонтальныхъ линеекъ *LL*, *Ll* На первой изъ этихъ линеекъ находится экранъ *e* съ вертикальнымъ отверстіемъ,—ширину котораго можно измѣнять по желанію,—и лампа Локателли S *. На линейкѣ *Ll* расположены: термоэлектрическая цѣпь *p* и экранъ *e'*, съ отверстіемъ равнымъ основанію цѣпи. Удаливъ сперва пластинку *m*, располагаютъ линейку *Ll* по направленію *LL* и наблюдаютъ отклоненіе стрѣлки термомультипликатора. Послѣ этого помощью неподвижнаго, раздѣленнаго круга *d* и указателя *r*, находящагося на линейкѣ *L l*, располагаютъ пластинку *m* такимъ-образомъ, чтобы лучи теплорода, отраженные отъ поверхности *m*, падали на основаніе термоэлектрической цѣпи. Изъ отклоненія стрѣлки мультипликатора заключаютъ о количествѣ теплоты падающей на основаніе термоэлектрической цѣпи. Отношеніе между этимъ количествомъ и количествомъ полученнымъ цѣпью, при первомъ опытѣ дастъ искомое отношеніе между испускаемою и отраженною теплотою. Для бо́льшей вѣрности и въ избѣжаніе всякой ошибки, которая бы могла произойти отъ случайнаго измѣненія температуры источника, наблюдаютъ вторично отклоненіе цѣпи, произведенное прямыми лучами, и въ вычисленіе вставляютъ среднее между этимъ отклоненіемъ и отклоненіемъ полученнымъ при первомъ опытѣ. Наконецъ, для повѣрки, ставятъ оба зеркала поочередно на подставку *d* и сравниваютъ полученные результаты; результаты эти должны между собою содержаться какъ отражательныя способности, измѣренныя порознь Вотъ главнѣйшіе выводы, полученные де-ла Провостэ и Дезепомъ при углѣ паденія въ 50°:

Полированное накладное серебро	0,97	Красная мѣдь полированная	0, 86
Золото	0,95	Зеркальный металлъ хорошо полированный	0,855
Латунь, красная мѣдь	0,93	Платина	0,83
Зеркальный металлъ потуск.	0,825	Цинкъ	0,81

*) Лампа Локателли имѣетъ только одинъ притокъ воздуха и не имѣетъ стекла. Свѣтильня внутри не пустая и имѣетъ четыреугольный разрѣзъ. Постоянный уровень масла въ рожкѣ поддерживается посредствомъ того же устройства, какъ и въ аргантовой лампѣ.

Сталь . . . . . 0,825 Чугунъ . . . . . 0,74—0,75.
Желѣзо 0,77

Всѣ эти металлы были кованные. Опыты произведенные надъ золотомъ—полированнымъ подъ молоткомъ или химически осажденнымъ на стальной пластинкѣ; надъ серебромъ—литымъ и полированнымъ или кованнымъ, или химически осажденнымъ на мѣди; надъ мѣдью—кованною или химически осажденною на желѣзѣ, надъ латунью — кованною или литою, надъ платиною — въ толстыхъ пластинкахъ, или химически осажденною — доказали, что отражательная способность металловъ, одинаково отполированныхъ, весьма мало зависитъ отъ того, будутъ ли металлы кованные или литые, или химически осажденные

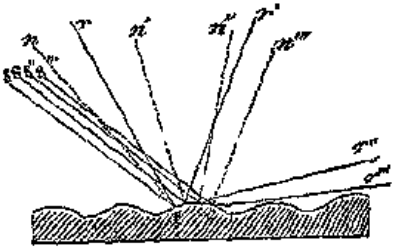
Зависимость отражательной способности отъ угла паденія. Посредствомъ снаряда представленнаго на фиг. 33-й можно производить опыты подъ различными углами паденія. Де-ла Провостэ и Дезёнъ нашли, что отражательная способность металловъ довольно постоянна до достиженія угла паденія въ 70°, послѣ чего она уменьшается. При углѣ паденія въ 80°, отражательная способность почти составляетъ 0,94 своей величины при малыхъ углахъ паденія. Свыше 80° нельзя было произвести опытовъ по причинѣ увеличивающейся неточности Отражательная способность стекла слѣдуетъ совершенно другому закону; она быстро увеличивается съ увеличеніемъ угла паденія, начиная отъ нормальной *).

54. Вліяніе полировки. *Разбрасываніе* (diffusion). Если полированную поверхность вогнутаго зеркала сдѣлать шероховатою, то количество отраженной теплоты, собранной въ фокусѣ значительно уменьшится Явленіе это, замѣченное Лесли, объясняется разбрасываніемъ нѣкоторой части теплородныхъ лучей при отраженіи отъ шероховатой поверхности Разбрасываніе состоитъ въ отраженіи теплоты, отъ каждой точки зеркала, во всѣ стороны, такъ-что эта отраженная теплота не проходитъ чрезъ фокусъ, получающій только *правильно* отраженную теплоту, т.-е. теплоту отраженную тѣми частями поверхности, которыя еще сохранили полировку. Явленіе это,—описанное Меллони, изслѣдовавшимъ этотъ предметъ съ особенною тщательностію,—соотвѣтствуетъ разбрасыванію лучей свѣта при отраженіи

*) Относительно теплоты, отражательная способность стекла слѣдуетъ тѣмъ же законамъ, какъ и относительно свѣта, и формула, которую въ этомъ случаѣ Френель нашелъ для свѣта, примѣняется также и къ теплороду.

отъ неполированныхъ поверхностей, дозволяющему намъ различать форму и цвѣтъ предметовъ. Разбрасываніе теплорода совершается подобно разбрасыванію свѣта, по обыкновеннымъ законамъ отраженія теплородныхъ лучей, но отъ всѣхъ неровностей шероховатой поверхности, причемъ отраженные лучи, по причинѣ весьма разнообразнаго положенія нормальныхъ къ точкамъ одной и той же неровности, должны также имѣть весьма различныя направленія Чертеж. 34-й представляетъ намъ это наглядно: s, s', s'', s''', представляютъ параллельно падающіе лучи; r, r', r'', r''', лучи отраженные, и n, n', n'', n''' нормальные въ точкахъ, гдѣ лучи встрѣчаютъ одну изъ неровностей a c на поверхности A B, на которой, для большей ясности, неровности показаны въ увеличенномъ размѣрѣ.

Фиг. 34.



Въ концѣ этой главы мы увидимъ, что аналогія между разбрасываніемъ теплорода и разбрасываніемъ свѣта сохраняется даже въ тѣхъ случаяхъ, когда освѣщенныя тѣла разсматриваются въ отношеніи отражаемыхъ ими лучей различныхъ цвѣтовъ.

II. Поглощательная способность.

55 Бо́льшая или мѐньшая способность тѣлъ пропускать чрезъ наружную поверхность часть падающей теплоты, составляетъ *поглощательную способность этихъ тѣлъ*, при этомъ теплота болѣе или менѣе усвоивается тѣломъ и нагрѣваетъ его. Поглощательная способность зависитъ отъ свойствъ наружнаго слоя Мушенбрёкъ (Muschenbroeck) замѣтилъ, что черноземъ въ болотахъ нагрѣвается отъ дѣйствія солнечныхъ лучей скорѣе, нежели бѣлый песокъ дюнъ. Онъ нашелъ, что куски дерева, покрытые различными веществами, нагрѣваются въ различной степени, и что куски чернаго цвѣта нагрѣваются болѣе другихъ Шэле нашелъ также, что сферическое зеркало, покрытое сажею, сильно нагрѣвалось предъ отверстіемъ печи, тогда-какъ то же зеркало, съ блестящею поверхностью, почти не нагрѣвалось при тѣхъ же обстоятельствахъ.

Чтобы сравнить поглощательную способность различныхъ тѣлъ, Лесли располагалъ въ фокусѣ зеркала своего снаряда резервуаръ термометра и покрывалъ его различными веществами; измѣненіе высоты ртути

въ термометрѣ показывало большую или мѣньшую поглощательную способность тѣла. Посредствомъ этого способа Лесли нашелъ, что теплородные лучи, испускаемые оловяннымъ ящикомъ, наполненнымъ кипяткомъ и покрытымъ сажею, возвышали температуру термометра, поставленнаго въ фокусѣ, до 100°, когда поверхность термометра была обнажена, и только до 20°, когда термометръ былъ покрытъ оловяннымъ листомъ Но когда сосудъ, употребленный для опыта, сохранялъ свою металлическую поверхность, то термометръ обнаженный поднимался до 12°, а покрытый оловомъ до 2°,5

Но способъ Лесли не даетъ отношеній между поглощательными способностями различныхъ тѣлъ. И въ-самомъ-дѣлѣ, термометръ становится постояннымъ, когда чрезъ лучеиспусканіе и прикосновеніе съ воздухомъ онъ столько же теряетъ теплоты, сколько получаетъ; но потери эти, въ различныхъ случаяхъ, не пропорціональны избыткамъ температуры надъ окружающею срединою, потому-что съ измѣненіемъ вещества измѣняются и свойства самой поверхности и вещества, имѣющія наибольшую испускательную способность, скорѣе другихъ теряютъ теплоту, при равномъ излишкѣ температуры надъ окружающею срединою.

Меллони сравнивалъ поглощательную способность тѣлъ посредствомъ другаго способа; онъ ставилъ передъ цѣпью термомультипликатора круги изъ тонкой мѣди, покрытые сажею со стороны обращенной къ цѣпи, а со стороны обращенной къ источнику теплоты — испытуемыми веществами. Но способъ этотъ, по той же причинѣ, какъ и способъ Лесли, не даетъ безусловныхъ отношеній между поглощательными способностями; Меллони поэтому на него указываетъ только какъ на средство для опредѣленія между двумя веществами того изъ нихъ, которое изъ обоихъ имѣетъ наибольшую поглощательную способность. Вотъ нѣсколько такихъ результатовъ, когда источникомъ теплоты былъ кубическій сосудъ, наполненный кипяткомъ *):

Сажа	100	Китайская тушь	85
Бѣлилы . . .	100	Гумми-лакъ . . .	72
Рыбій клей . . .	91	Металлы . .	13

*) Мы увидимъ, что порядокъ этотъ нарушается при другихъ источникахъ теплоты.

Достойно замѣчанія, что порядокъ въ которомъ слѣдуютъ эти вещества, тотъ же, который мы видѣли для испускательной способности

Сравнивъ поглощательную способность различныхъ бѣлыхъ тканей, наклеенныхъ на круги, Нобили и Меллони нашли, для нижеозначенныхъ веществъ, слѣдующій порядокъ: *шелкъ, шерсть, хлопчатая бумага, ленъ* и *пенька*, изъ которыхъ шелкъ имѣетъ наибольшую поглощательную способность. Для металловъ порядокъ этотъ былъ слѣдующій: *свинецъ* и *олово*, *желѣзо*, *сталь*, *золото*, *серебро*, *мѣдь*, порядокъ этотъ, какъ замѣчаютъ Нобили и Меллони, находится почти въ обратномъ содержаніи къ способностямъ этихъ тѣлъ передавать теплородъ отъ частицы къ частицѣ Замѣчаніе это примѣняется равнымъ-образомъ и къ тканямъ.

Лучшій способъ для полученія чиселъ, представляющихъ поглощательную способность тѣлъ, состоитъ въ вычитаніи изъ всего количества теплоты, получаемой термоскопомъ отъ постояннаго источника теплорода, той части теплоты, которую отражаетъ разсматриваемое вещество Разность покажетъ часть теплоты, поглощенную этимъ веществомъ, если, разумѣется, испытываемая поверхность будетъ хорошо отполирована, и, слѣдовательно, не будетъ отражать разбросанной теплоты. Снарядъ фиг 33) можетъ служить для этого рода опытовъ.

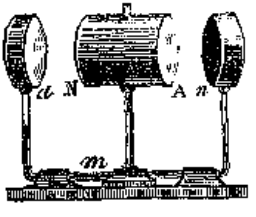
56. Вліяніе полировки. — Лесли замѣтилъ, что поглощательная способность металлической пластинки увеличивается съ проведеніемъ бороздокъ на ея поверхности. Меллони доказалъ, что вліяніе это, такъ же какъ и для испускательной способности, только кажущееся 45), и что разница въ результатахъ происходитъ оттого, что бороздки, сдѣланныя на пластинкѣ, обнажаютъ слои менѣе плотные, чѣмъ верхній, который болѣе сжатый отъ непосредственнаго дѣйствія плющильнаго станка. Вотъ нѣкоторые изъ опытовъ, подтверждающихъ это мнѣніе. Берутъ два круга изъ бѣлой жести, вычерненной со стороны термоэлектрической цѣпи, и одинъ изъ нихъ слегка куютъ молоткомъ для произведенія на немъ незначительныхъ выпуклостей; другой же кругъ оставляютъ въ его обыкновенномъ видѣ. Опытъ показываетъ, что теплота лучеиспускаемая однимъ и тѣмъ же источникомъ, болѣе нагрѣваетъ послѣдній кругъ, несмотря на то, что онъ болѣе блестящій; результатъ этотъ обнаруживается изъ дѣйствія производимаго вычерненною стороною на термоэлектрическую цѣпь. Слѣдовательно, поглощательная способность, подобно испускательной, уменьшается съ увеличеніемъ плотности Литыя и медленно охлажденныя пла-

стинки изъ золота и серебра поглощаютъ болѣе теплоты при поверхности исчерченной алмазомъ; это происходитъ оттого, что остріе алмаза сжимаетъ частицы лежащія на днѣ бороздокъ. Вещества, которыя нельзя ковать,—какъ. гагатъ, мраморъ, слоновая кость — не измѣняютъ поглощательной способности, какова бы ни была ихъ поверхность—полированная или шероховатая.

Изъ вышесказаннаго слѣдуетъ, что увеличивая плотность металла, уменьшаютъ его поглощательную способность а слѣдовательно увеличиваютъ способность отражательную Поэтому полезно употреблять сферическія зеркала изъ кованнаго металла. Дюлонгъ (Dulong), сдѣлавъ сопряженныя зеркала посредствомъ токарнаго станка, нашелъ, что дѣйствіе ихъ было гораздо слабѣе дѣйствія двухъ маленькихъ зеркалъ, менѣе тщательно отдѣланныхъ, но приготовленныхъ посредствомъ молота. Результатъ этотъ теперь понятенъ Опыты, поименованные выше (53), повидимому доказываютъ, что способъ приготовленія металла имѣетъ весьма малое вліяніе на его отражательную способность; но надобно замѣтить, что весьма незначительная, почти незамѣтная, разность въ пучкѣ теплорода въ снарядѣ (фиг 33) дѣлается весьма чувствительною въ фокусѣ большаго сферическаго зеркала.

57. Сравненіе испускательной и отражательной способностей. - Порядокъ, которому слѣдуютъ тѣла относительно ихъ поглощательной способности, тотъ же, что и для испускательной способности этихъ тѣлъ Слѣдовательно тѣла наиболѣе лучеиспускающія теплоту суть въ то же время тѣла одаренныя наибольшею поглощательною способностью. Посредствомъ опыта, обнародованнаго Ричи (Ritchie), было сперва дознано, что *испускательныя способности пропорціональны поглощательнымъ*. Фиг. 35-я представляетъ снарядъ употребленный при этомъ опытѣ; *a m n* изображаетъ дифференціальный термометръ, шарики котораго замѣнены металлическими цилиндрическими резервуарами, основанія которыхъ между собою параллельны. Основаніе *n* покрыто сажею, основаніе же *a* посеребрено; между обоими основаніями *a* и *n* помѣщенъ цилиндрическій сосудъ *A N*, одинаковаго съ нимъ діаметра; сторона *N* сосуда покрыта сажею, а сторона *A* посеребрена. Опытъ показываетъ, что резервуары *a* и *n* показываютъ одинаковую температуру, когда сосудъ *A N* на-

фиг. 35.



ходится на равномъ отъ обоихъ разстояніи, откуда выводятъ, что испускательныя способности сажи и серебра пропорціональны поглощательнымъ способностямъ тѣхъ же тѣлъ. И въ-самомъ-дѣлѣ, пусть T температура сосуда A N, t температура резервуаровъ a и n когда онѣ постоянны, a и n поглощательныя способности серебра и сажи, A и N испускательныя способности этихъ тѣлъ, и наконецъ d разстоянія a N и n A, а S поверхность основаній цилиндровъ. Количество теплоты, получаемое стороною n отъ каждой точки поверхности A, пропорціонально испускательной способности сей послѣдней и поглощательной способности стороны n, т.-е. пропорціонально A n. Количество это также зависитъ отъ разстоянія d, величины поверхности S и температуръ T и t, и слѣдовательно выразится формулою:

$$A n \times F (S, d, T, t).$$

Количество теплоты, получаемое резервуаромъ a, по тѣмъ же причинамъ пропорціонально $N a$ и зависитъ точно также, какъ количество теплоты, полученное первымъ резервуаромъ отъ количествъ S, d, T, t. Видъ функціи F будетъ слѣдовательно тотъ же, и для выраженія количества теплоты, *полученнаго резервуаромъ a, мы будемъ имѣть:*

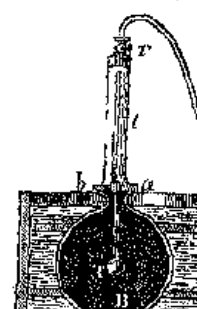
$$N a \times F (S, d, T, t).$$

Но какъ количество теплоты, полученное каждымъ изъ резервуаровъ, одно и то же, если сосудъ A N находится на равномъ отъ нихъ разстояніи, то получимъ:

$$A n \times F (S, d, T, t,) = N a \times F (S, d, T, t), \text{ т.-е. } A n = N a.$$

Это равенство заключаетъ вышеизложенное отношеніе. Замѣняя сажу и серебро другими веществами, приходятъ къ *тому же выводу.*

Фиг. 36.



Равенство между испускательною и поглощательною способностями. Опытъ кромѣ того доказываетъ, что испускательная и поглощательная способности одного и того же вещества выражаются однимъ и тѣмъ же числомъ. Чтобы доказать это, употребляютъ снарядъ, придуманный Дюлонгомъ и Пти для изслѣдованія законовъ охлажденія (70). Мѣдный шаръ B (фиг. 36), покрытый внутри сажею, содержитъ термометръ T, шарикъ котораго занимаетъ центръ фигуры. Поверхность термометра покрыта веществомъ, котораго спо-

собности хотять подвергнуть сличенію. Температуру, показываемую термометромъ, наблюдаютъ посредствомъ стеклянной трубки t, опирающейся на подставку ab, отшлифованную наждакомъ и плотно прилегающую къ горлышку шара Трубка t снабжена краномъ r, къ которому придѣлана свинцовая трубка, служащая для вытягиванія воздуха изъ снаряда. Шаръ B погруженъ въ ванну, температура которой извѣстна. Опытъ состоитъ въ томъ, что измѣряютъ время, употребляемое термометромъ на то, чтобы подняться на незначительное количество, когда его температура нѣсколькими градусами ниже температуры шара —а потомъ время, употребляемое имъ на то, чтобы понизиться на то же количество, когда его температура превышаетъ температуру шара на то же число градусовъ. Сперва, напр при температурѣ ванны въ 10°, доводятъ термометръ, чрезъ погруженіе въ тающій ледъ, до 0°, потомъ вставляютъ его въ горлышко шара, накрываютъ трубкою t и вытягиваютъ воздухъ. Во все это время термометръ поднимается и ждутъ пока онъ достигнетъ 5°. По достиженіи этой высоты, измѣряютъ время, которое онъ употребитъ на то, чтобы подняться еще на 1°. Во второмъ случаѣ облагаютъ шаръ тающимъ льдомъ и нагрѣваютъ термометръ до температуры 10°; термометръ придѣлываютъ къ снаряду и наблюдаютъ время, въ которое онъ спустится отъ 5° до 4°. Опытъ показываетъ, что время это равняется тому, которое въ первомъ случаѣ и при тѣхъ же обстоятельствахъ употребилъ термометръ для повышенія на 1°. Но какъ воздухъ былъ вытянутъ изъ снаряда, то нагрѣваніе и охлажденіе термометра могли произойти только отъ его поглощательной и испускательной способностей; кромѣ-того законъ Ньютона (41) примѣнимъ къ столь незначительнымъ разницамъ температуры. Теплота, слѣдовательно, одинакою скоро поглощается и теряется шарикомъ термометра, откуда слѣдуетъ заключить, что испускательная способность равняется поглощательной, по-крайней-мѣрѣ въ предѣлахъ условій этого опыта, т.-е. въ предѣлахъ примѣненія Ньютонова закона.

Равенство это, какъ замѣчаетъ Депрэ (Despreiz) *) можетъ быть также выведено изъ равновѣсія температуры тѣла, заключеннаго въ закрытомъ пространствѣ. Тѣло это принимаетъ температуру средины, въ которой оно находится и, слѣдовательно, оно необходимо поглощаетъ столько же теплоты, сколько и теряетъ посредствомъ лучеиспусканія.

---

*) Traité élementaire de physique, p. 181.

Фурье (Fourrier) объяснилъ слѣдующимъ образомъ равенство этихъ двухъ способностей въ тѣлѣ, температура котораго постоянна, что бываетъ, когда тѣло получаетъ и теряетъ одинаковое количество теплоты. Возьмемъ падающій лучь, котораго напряженіе пусть будетъ i. Положимъ, тѣло поглощаетъ количество ni теплоты падающаго луча и отражаетъ правильно или разбросаннымъ образомъ остальную $i-ni=i(1-n)$; такимъ-образомъ количества n и $(1-n)$ представляютъ поглощательную и отражательную способности наружнаго слоя тѣла. Но какъ температура тѣла равна температурѣ окружающихъ стѣнъ, то напряженіе луча, стремящагося выйти изъ тѣла, будетъ также равняться i; а для того чтобы тѣло не измѣнило своей температуры, то только количество ni, равное поглощенному количеству теплоты, должно будетъ проникнуть наружу. Остается, слѣдовательно, количество $i(1-n)$, которое не проникаетъ наружу, а отражается во внутрь, въ той же пропорціи, какъ и количество отраженное поверхностію тѣла наружу.

58. Когда нѣтъ равновѣсія температуры, т.-е когда тѣло нагрѣвается или охлаждается,—то можетъ случиться, что равенство между способностями испускательною и поглощательною нарушится. Напримѣръ, если два деревянные, совершенно одинаковые круга покрыть, одинъ сажею, а другой бѣлилами — веществами имѣющими равную испускательную способность—и круги эти подвергнуть дѣйствію солнечныхъ лучей, то нагрѣваніе ихъ совершится различнымъ образомъ; кругъ покрытый сажею нагрѣвается гораздо быстрѣе круга покрытаго бѣлилами. Это происходитъ оттого, что бѣлилы отражаютъ большое количество разбросанной теплоты, тогда какъ сажа ея почти вовсе не отражаетъ.

Мы увидимъ, съ другой стороны, что поглощательная способность зависитъ отъ свойства теплородныхъ лучей и источника, изъ котораго они истекаютъ, тогда-какъ испускательная способность только зависитъ отъ свойствъ наружнаго слоя тѣла. Опыты, доказывающіе равенство обоихъ способностей, были только сдѣланы для температуръ не превышающихъ 300°; различіе же свойствъ лучей теплорода, какъ мы это увидимъ далѣе, становится въ-особенности ощутительнымъ только при температурѣ превышающей вышепоименованную. Слѣдовательно могло бы случиться, что равенство это нарушится при температурахъ болѣе высокихъ и при различныхъ источникахъ. Предположеніе это не опровергается также показаннымъ выше объясненіемъ Фурье; потому-что ничѣмъ не доказано, что дѣйствіе лучей, отраженныхъ во внутрь, совершенно подобно дѣйствію лучей отраженныхъ

наружу. И дѣйствительно, эти послѣдніе болѣе не возвращаются и дѣйствіе ихъ на тѣло бываетъ потеряно, тогда-какъ лучи отраженные во внутрь могутъ встрѣтить частицы, которыя вновь отразятъ эти лучи къ поверхности, гдѣ часть ихъ можетъ быть отражена наружу, потому-что отраженіе, какъ мы видѣли, совершается на извѣстной глубинѣ отъ математической поверхности тѣла 51.

59. Примѣненія Свойство, которымъ обладаютъ въ неравной степени различныя вещества,—пропускать сквозь ихъ поверхность теплоту,—служитъ для объясненія множества фактовъ и ведетъ ко множеству практическихъ примѣненій, указанныхъ въ-особенности Румфортомъ *). Снѣгъ, имѣющій незначительную поглощательную способность, только медленно таетъ на солнцѣ, но если его посыпать порошкомъ изъ угля, то таяніе совершается быстро вслѣдствіе теплоты сообщаемой снѣгу прикосновеніемъ частицъ угля, сильно поглощающаго солнечные лучи Такимъ-образомъ можно дѣлать на снѣгу различные узоры, посыпавъ его въ различныхъ направленіяхъ угольною пылью, которая по незначительности не была бы замѣтна для глаза. Отъ камня, положеннаго на ледъ, ледъ таетъ въ точкахъ прикосновенія съ камнемъ, когда этотъ послѣдній нагрѣтъ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей Снѣгъ, покрывающій землю, защищаетъ ее отъ холода, по причинѣ слабой своей лучеиспускательной способности.

Животные сѣверныхъ странъ имѣютъ по большей части бѣлую шерсть, напримѣръ бѣлые медвѣди; другіе мѣняютъ шерсть съ каждымъ временемъ года, имѣя бѣлую шерсть зимою; отъ этого значительно уменьшается потеря тѣлесной теплоты чрезъ лучеиспусканіе.

Черный цвѣтъ кожи негровъ дѣлаетъ ихъ, болѣе бѣлыхъ, способными переносить климатъ жаркихъ странъ, значительная испускательная способность, которую имѣетъ кожа негровъ, освобождаетъ ихъ отъ избытка тѣлесной теплоты. Правда, съ другой стороны, можно бы подумать, что они болѣе другихъ страдаютъ отъ непосредственнаго дѣйствія солнечныхъ лучей, но это отвращается тѣмъ, что кожа негровъ отдѣляетъ наружу маслянистое вещество, отражающее большую часть падающихъ лучей, что ослабляетъ поглощательную способность При одинаковыхъ толщинахъ и свойствахъ тканей, черныя платья легче бѣлыхъ дозволяютъ теряться тѣлесной теплотѣ. Поэтому и зимою и лѣтомъ должно предпочитать бѣлыя

*) Bibliothèque britannique, tom. XXV.

ткани; ибо они лучше противятся прохождению теплоты, которая лѣтомъ стремится проникнуть въ наше тѣло, имѣющее тогда температуру ниже температуры окружающей средины,—зимою же напротивъ, стремится выйти наружу. Бѣлый цвѣтъ бѣлья тоже не мало препятствуетъ потерѣ теплоты тѣла; лучи испускаемые кожею, отражаются во всѣхъ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ бѣлье не прикасается непосредственно къ тѣлу, и вновь возвращаются къ сему послѣднему

Печь должно покрывать черною краскою для того, чтобы она испускала наибольшее количество теплоты; сдѣланная изъ полированной и блестящей мѣди печь нагрѣваетъ только прикасающійся къ ней воздухъ и, даже раскаленная, имѣетъ слабое лучеиспусканіе. По той же причинѣ жидкости, заключенныя въ серебряныхъ и мѣдныхъ сосудахъ, или въ бѣлой муравленной посудѣ, медленно охлаждаются. Для быстраго нагрѣванія жидкости необходимо, чтобы сосудъ, въ которомъ она заключается, имѣлъ черную поверхность въ той части, которая подвержена дѣйствію огня, а въ остальныхъ частяхъ поверхность блестящую Стѣны, поддерживающія въ садахъ шпалерникъ, покрываютъ черною краскою съ тою цѣлью, чтобы онѣ, поглощая солнечные лучи, лучеиспускали бы ихъ къ сторонѣ плодовъ, неполучающей прямо теплоты отъ солнца Комната съ вызолоченными стѣнами нагрѣвалась бы весьма скоро отъ дѣйствія находящагося въ ней камина, потому-что лучи стремящіеся наружу были бы отражены во внутрь, самыя же стѣны оставались бы холодными на ощупь.

§ 3. О равновѣсіи лучеиспускаемой теплоты.

60 Подвижное равновѣсіе температуры Когда нѣсколько тѣлъ заключены въ одной и той же оградѣ, стѣнки которой имѣютъ температуру равную температурѣ каждаго изъ тѣлъ, то количество теплоты содержащееся въ сихъ послѣднихъ остается неизмѣннымъ. Обстоятельство это можно объяснить двоякимъ образомъ, во-1-хъ, предполагая что тѣла эти не лучеиспускаютъ и не получаютъ теплоты, или же, во-2-хъ, принимая, что стѣнки ограды, равно какъ и тѣла, лучеиспускаютъ одни къ другимъ теплоту и, такъ-сказать, обмѣниваются лучами одинаковаго напряженія, такъ-что тѣла эти, пріобрѣтая столько же теплоты, сколько они ея теряютъ, сохраняютъ постоянную температуру. Если бы поглощательная и отражательная способности

и не были у всѣхъ этихъ тѣлъ одинаковы, то это нисколько не измѣняетъ вышепоказаннаго результата И въ-самомъ-дѣлѣ, положимъ тѣло получаетъ лучи теплоты, напряженіе которыхъ равняется i; тѣло поглощаетъ количество ni и отражаетъ остальное равное $i(1-n)$. Но какъ испускательная способность тѣла равняется его поглощательной способности, то, поглощая часть ni, оно испускаетъ въ то же время количество теплоты, равное этой поглощенной части; слѣдовательно, количество теплоты передаваемое тѣломъ другимъ тѣламъ, составится изъ части ni и отраженнаго количества $i(1-n)$, то-есть $ni+i(1-n)=i$. Тѣло, слѣдовательно, возвращаетъ все получаемое имъ количество теплоты и такимъ-образомъ ничего не пріобрѣтаетъ и не теряетъ

Если тѣло холоднѣе другихъ, окружающихъ его тѣлъ, то оно нагрѣвается, пріобрѣтая, на основаніи Ньютонова закона, болѣе теплоты, нежели оно испускаетъ; если же оно нагрѣто болѣе другихъ, то испускаетъ лучи имѣющіе болѣе высокую температуру нежели тѣ, которые оно получаетъ и не перестаетъ терять теплоты до-тѣхъ-поръ, пока не установятся равновѣсія между температурою всѣхъ тѣлъ ограды, послѣ чего количество получаемой тѣлами теплоты дѣлается равнымъ отдаваемому ими количеству. Окончательная температура не зависитъ ни отъ массы, ни отъ формы, ни отъ свойства, ни наконецъ отъ расположенія или же числа тѣлъ; но скорость, съ которою равновѣсіе установляется, зависитъ отъ массы тѣла, отъ состоянія его поверхности, отъ его теплоемкости и, наконецъ, отъ окружающей средины, если таковая находится.

Теорія эта, извѣстная подъ названіемъ *подвижнаго равновѣсія температуры*, была высказана Петромъ Превё (Pierre Prevost, изъ Женевы, въ 1791 году. Въ настоящее время она исключительно принята учеными. И дѣйствительно, теорія эта болѣе первой согласуется съ понятіями, которыя мы себѣ составляемъ о существѣ теплорода, и объясняетъ всѣ явленія теплоты; тогда-какъ первая,—независимо отъ затрудненія въ которомъ мы находимся относительно уразумѣнія состоянія покоя въ такомъ подвижномъ дѣятелѣ, какъ теплородъ,—представляетъ еще другія затрудненія на каждомъ шагу. Напримѣръ, если тѣло находится въ оградѣ, температура которой выше температуры тѣла, то оно нагрѣвается посредствомъ лучей, получаемыхъ имъ изъ различныхъ точекъ ограды, и съ точки зрѣнія первой гипотезы надобно будетъ допустить, что только присутствіе этого тѣла возбуждаетъ въ оградѣ лучеиспусканіе теплоты и то только по на-

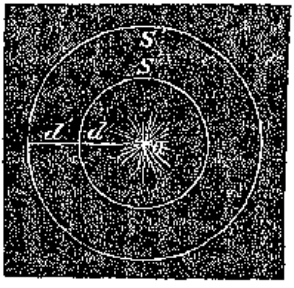
правленію къ этому тѣлу, ибо прочія тѣла, какъ имѣющія одинаковую температуру съ оградою, и слѣдовательно болѣе не нагрѣвающіяся, уже не должны получать теплоты.

Фурьѐ (Fourrier) опредѣлилъ еще точнѣе это начало, указанное Превò, и развилъ, въ своей математической теоріи теплоты, послѣдствія вытекающія изъ этого начала. Лапласъ и Пуассонъ (Laplace et Poisson), въ сочиненіяхъ своихъ о теплородѣ, принимаютъ то же начало, а нынѣ, какъ мы сказали, оно принято всѣми учеными.

Но прежде-чѣмъ мы разовьемъ главныя слѣдствія этой теоріи, докажемъ нѣкоторыя начала, на которыя намъ придется сослаться впослѣдствіи.

61. I. Измѣненіе напряженія теплоты съ разстояніемъ. Подъ *напряженіемъ* мы разумѣемъ количество теплоты, получаемое извѣстною единицею поверхности. *Напряженіе теплоты обратно пропорціонально квадратамъ разстояній.* Начало это можетъ быть выведено слѣдующимъ образомъ. Пусть будетъ o (фиг. 37) точка издающая во всѣ стороны теплородные лучи; s и s' двѣ сферическія поверхности, центръ которыхъ находится въ этой точкѣ o; d и d' радіусы этихъ поверхностей. Вся теплота, испускаемая точкою o, пройдетъ чрезъ каждую изъ этихъ сферическихъ поверхностей. Напряженіе теплоты, то есть количество, которое получитъ каждая единица поверхности, будетъ, слѣдовательно, тѣмъ меньше чѣмъ сферическая поверхность будетъ больше; означая чрезъ i и i' степень дѣйствія теплоты на разстояніяхъ d и d', а чрезъ s и s' площади сферическихъ поверхностей, получимъ.

Фиг. 37



$$i \,.\, i' = s' : s \text{ или } i : i' = d'^2 \,.\, d^2;$$

ибо сферическія поверхности относятся между собою какъ квадраты ихъ радіусовъ d и d'. Подразумѣвается, что каждый лучъ теплоты, самъ по себѣ сохраняетъ одну и ту же степень дѣйствія, какъ это бываетъ въ пустомъ пространствѣ. Воздухъ хотя и поглощаетъ незначительное количество, но при разстояніяхъ, принимаемыхъ обыкновенно въ соображеніе, вліяніе этого поглощенія вовсе не ощутительно.

Начало это, какъ мы видимъ, основывается на томъ, что отъ точки o лучи расходятся во всѣ стороны. Еслибъ лучи шли параллель-

но,—какъ это бываетъ когда лучеиспускающая точка находится въ фокусѣ параболическаго зеркала, — то съ разстояніемъ лучи бы не теряли напряженія, развѣ только весьма незначительное количество поглощаемое воздухомъ. *Для повѣрки этого правила на опытѣ*, берутъ снарядъ Лесли и измѣняютъ разстояніе между сферическимъ зеркаломъ и сосудомъ съ кипяткомъ, удаляя постепенно этотъ послѣдній отъ зеркала. Такимъ-образомъ находятъ что разности температуры обоихъ шариковъ термоскопа будутъ t, $\frac{1}{4}t$, $\frac{1}{9}t$... При разстояніяхъ источника отъ зеркала, содержащихся какъ 1 къ 2, къ 3.... При этомъ опытѣ поверхность зеркала, остающаяся постоянною, получаетъ все меньшія-и-мѣньшія количества теплоты. Еслибы, вмѣстѣ съ удаленіемъ отъ сосуда, зеркало увеличивалось такимъ-образомъ, чтобы поверхность его составляла постоянно основаніе одного и того же конуса лучей теплоты, вершина котораго бы находилась въ источникѣ теплорода, то дѣйствіе производимое на термоскопъ оставалось бы неизмѣннымъ.

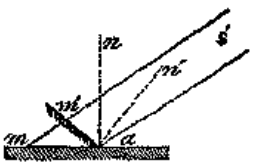
Пустой шаръ Румфорта (31) тоже можетъ служить для доказательства разсматриваемаго нами начала: каковъ бы ни былъ діаметръ шара, термометръ всегда поднимается на то же количество. При поверхности же въ 2, 3, 4 ... раза большей, число точекъ, лучеиспускающихъ теплоту къ термометру, будетъ также въ 2, 3 4... раза больше, и для того чтобы температура термометра несмотря на это оставалась тою же, необходимо, чтобы напряженіе лучей, падающихъ на термометръ, было въ 2, 3, 4... раза меньше, т.-е находилось въ обратномъ содержаніи къ поверхности шара или, что все равно къ квадрату радіуса сферической поверхности, центръ которой занимаетъ термометръ. Лесли бралъ оловянныя коробки различной величины, но при одинаковой температурѣ, и располагалъ ихъ по очередно передъ шарикомъ термоскопа такимъ-образомъ, чтобы многогранный уголъ, составленный центромъ шарика и краями коробокъ, оставался одинъ и тотъ же, и нашелъ, что снарядъ всегда давалъ одни и тѣ же результаты

Румфортъ воспользовался этимъ закономъ для сличенія испускательныхъ способностей тѣлъ. Предъ каждымъ изъ шариковъ термоскопа онъ располагалъ наполненные кипяткомъ цилиндрическіе сосуды, основанія которыхъ были покрыты испытуемыми веществами; экранъ, поставленный между обоими шариками, защищалъ каждый изъ нихъ отъ дѣйствія теплоты, которая ему не предназначалась.

Удаляя сосудъ, основаніе котораго имѣло наибольшую испускательную способность, онъ доводилъ указатель термоскопа до 0°, тогда испускательныя способности сличаемыхъ веществъ находились *въ прямомъ содержаніи* къ квадратамъ разстояній.

62. II. Напряженіе косвенно падающихъ лучей. — *Напряженіе теплоты падающей на поверхность пропорціонально косинусу угла образуемаго падающими лучами съ нормальною къ этой поверхности* Пусть s (фиг. 38) будетъ пучокъ падающихъ лучей, принимая поверхность $m\ a$ безконечно-малою, можно разсматривать пучокъ какъ-бы составленнымъ изъ лучей параллельныхъ. Пусть $a\,m'$ будетъ другая поверхность, образующая другой уголъ съ направленіемъ падающаго пучка s. А какъ каждая изъ этихъ поверхностей получаетъ всю массу теплоты пучка s, то напряженіе теплоты на каждую изъ нихъ будетъ обратно пропорціонально относительнымъ величинамъ $m\ a$ и $m'\ a$; слѣдовательно

Фиг. 38.



$$i : i' = m'a : ma \text{ или } i \,.\, i' = \sin\,(m'ma) : \sin\,(mm'a),$$

ибо стороны треугольника относятся между собой какъ синусы противолежащихъ угловъ. Замѣняя эти *синусы косинусами* дополнительныхъ угловъ, т.-е. угловъ составляемыхъ съ нормальною, получимъ:

$$i : i' = \cos\,(san) : \cos\,(san');$$

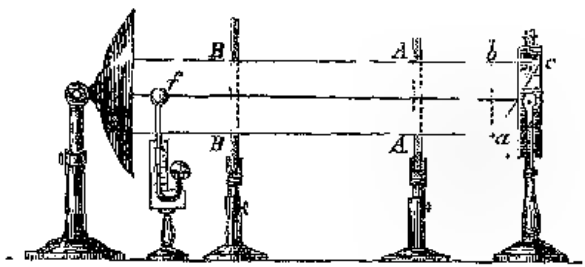
что́ и требовалось доказать.

Замѣтимъ, что здѣсь говорится только о количествѣ теплоты падающемъ на поверхность, а не поглощаемомъ ею, ибо послѣднее количество измѣняется съ наклоненіемъ лучей, такъ-какъ часть отраженныхъ лучей измѣняется соотвѣтственно этому наклоненію (53); поэтому поглощенное количество теплоты различно отъ количества выраженнаго вышеизложеннымъ закономъ.

63. III. Дѣйствіе косвенно испускаемой теплоты.—*Дѣйствіе теплоты косвенно испускаемой поверхностью, лишенной отражательной способности, пропорціонально косинусу угла составляемаго лучами съ нормальною къ этой поверхности* Правило это изложилъ Ламберъ (Lambert, въ своей пирометріи (pyrométrie), какъ примѣнимое ко всякаго рода поверхности. Лесли доказалъ его на опытѣ

относительно сажи Опытъ производится слѣдующимъ образомъ: передъ *сферическимъ* зеркаломъ (фиг. 39) располагаютъ сосудъ *a c*, наполненный кипяткомъ, и имѣющій плоскую поверхность, покрытую сажею Пучокъ лучей получаемый зеркаломъ, ограничиваютъ посредствомъ равныхъ отверстій A A, B B, сдѣланныхъ въ экранахъ, поставленныхъ на довольно значительномъ разстояніи одинъ отъ другаго, дабы проходящіе чрезъ отверстія лучи можно было разсматривать какъ параллельные. Опытъ дастъ одинаковые результаты, каково бы ни было положеніе даваемое лучеиспускающей поверхности, лишь бы лучи испускаемые ею занимали, при всякомъ положеніи поверхности, все пространство цилиндра *A B A B*. Но какъ лучеиспускающая поверхность равняется то *a b*, то *a c*, результатъ же остается одинъ и тотъ же, то необходимо, чтобы напряженія *i* и *i'* лучей испускаемыхъ поверхностями *a c* и *a b* были обратно пропорціональны площадямъ этихъ поверхностей. Такимъ образомъ получимъ:

Фиг 39.

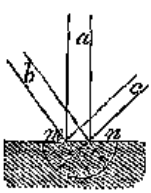


$$i\ i' = ab\ \ ac = \sin(acb) \cdot \sin(cba)$$

А какъ углы *a c b* и *c b a* составлены поверхностями *a c* и *a b* съ направленіемъ испускаемыхъ лучей, то слѣдовательно дѣйствіе этихъ лучей пропорціонально *синусамъ* угловъ, образуемыхъ лучами съ лучеиспускающею поверхностью, или, что все-равно, *косинусамъ* угловъ составляемыхъ лучами съ нормальною къ поверхности.

Фурье (Fourrier, объясняетъ этотъ законъ слѣдующимъ образомъ: пусть *m n* фиг. 40) будетъ элементъ поверхности тѣла: изъ средины его опишемъ шарообразную поверхность радіусъ которой равнялся бы толщинѣ слоя лучеиспускающаго теплоту (46. Разсматривая цилиндры *a m n*, *b m n*, *c m n*, находящіеся въ различныхъ направленіяхъ, опирающіеся на частичку *m n* и кончающіеся у сферической поверхности, увидимъ, что каждый изъ лучей, испускаемый по направленію этихъ цилиндровъ, будетъ имѣть одно и то же

Фиг 40.



напряженіе, число же лучей испускаемыхъ по каждому направленію будетъ пропорціонально перпендикулярному сѣченію каждаго цилиндра, т.-е. синусу угла составляемаго направленіемъ цилиндра съ поверхностью *mn*, ибо каждое перпендикулярное сѣченіе есть ни что иное, какъ проэкція элемента *mn* на плоскость перпендикулярнаго къ бокамъ цилиндра. Разсужденіе это, разумѣется, предполагаетъ отсутствіе внутренняго отраженія, какъ это бываетъ съ сажею На основаніи этого закона выходитъ, что каждая кривая поверхность испускаетъ, въ данномъ направленіи, то же количество лучей, какъ плоская поверхность равняющаяся проэкціи кривой поверхности на плоскости перпендикулярной къ направленію лучей. Опытъ подтверждаетъ этотъ выводъ; берутъ сосудъ полусферической или полуцилиндрической формы, покрытый сажею и находятъ, что какъ кривая такъ и плоская поверхность, обращенныя къ термоскопу, производятъ одинаковое дѣйствіе Замѣтимъ еще, что еслибы лучи косвенно издаваемые поверхностью, не теряли напряженія, то теплота издаваемая косвенно, достигала бы чрезвычайной силы относительно теплоты испускаемой перпендикулярно, ибо по мѣрѣ удаленія отъ нормальной, испускаемые частицею *mn* лучи все болѣе-и-болѣе между собою сближаются, и слѣдовательно, въ одной и той же оградѣ, температура тѣла зависѣла бы въ значительной степени отъ занимаемаго имъ положенія, что однакожь, какъ мы увидимъ, не имѣетъ мѣста.

64. Случай при тѣлахъ одаренныхъ отражательною способностію Законъ Ламбёра, испытанный только для поверхности неимѣющей отражательной способности, былъ вообще принятъ какъ справедливый для всѣхъ веществъ Де-ла Провостэ и Дезёнъ, доказавъ измѣненія отражательной способности съ измѣненіемъ направленія падающихъ лучей (53), сомнѣвались въ точности этого закона для поверхностей способныхъ отражать теплоту, потому, что испускаемая теплота есть ни что иное какъ разность между теплотою падающею на поверхность и отраженною внутрь и можно было думать, что сія послѣдняя измѣняется, какъ и при наружномъ отраженіи, съ наклоненіемъ поверхности.

Чтобы разъяснить это недоразумѣніе, названные нами ученые произвели опыты надъ различными веществами *). Употребленный ими

*) Annales de chimie et de physique, 3-e serie, t. XXII p. 393.

спарядъ состоялъ изъ прямоугольнаго мѣднаго ящика, наполненнаго масломъ, доведённымъ до температуры между 120° и 180°; ящику этому можно было, по желанію, давать болѣе или менѣе наклоненное положеніе. Экраны съ отверстіями ограничивали цилиндрическій пучокъ лучей, падавшихъ на основаніе термоэлектрической цепи. Нижеслѣдующая таблица показываетъ результаты большаго числа опытовъ, полученные при различныхъ наклоненіяхъ.

Наклоненіе.	Сажа отъ лампы.	Стекло	Бѣлилы.	Красн. охра.	Чернь.
0°	100	90,0	100	100	100
60	»	83,6	94,6	»	»
70	100	75,01	83,9	91,2	»
75	»	65,3	»	»	»
80	100	55,44	65,9	82,3	76

Три послѣднія вещества были наведены съ помощью скипидара. Пластинка изъ стекла была прислонена съ наивозможнѣйшею тщательностію къ плоской поверхности сосуда. Мы видимъ такимъ-образомъ, что законъ Ламбера подтверждается только для сажи, но неприменимъ къ прочимъ веществамъ, употребленнымъ при вышепоказанныхъ опытахъ. Законъ этотъ, слѣдовательно, только можетъ быть принятъ для поверхностей неимѣющихъ отражательной способности.

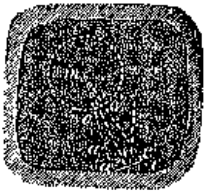
65. Количество теплоты проходящей чрезъ различныя точки ограды. Постановивъ предъидущія начала, разсмотримъ, слѣдуя Фурье *), вытекающія изъ нихъ слѣдствія. Мы докажемъ сперва, что количество теплоты проходящей чрезъ точку взятую въ пустой оградѣ, всѣ части которой имѣютъ постоянную температуру, будетъ одно и то же, каково бы ни было положеніе этой точки.

Случай при отсутствіи отражательной способности. Предположимъ сперва, что стѣнки ограды не имѣютъ отражательной способности, имѣя повсюду одинаковую температуру. Возьмемъ въ этой оградѣ какую-нибудь точку m (фиг. 41); точка эта получитъ теплородные лучи отъ всѣхъ частей ограды. Пусть будетъ $a\,c$ безконеч-

*) Annales de chimie et de physique, 2-e série, t. VI.

но-малая частица, и J напряженіе лучей издаваемыхъ этою частицею по направленію нормальной, т.-е. количество теплорода издаваемаго единицею поверхности, и зависящаго отъ ея температуры. Напряженіе теплоты отданной частицею ac, и полученной точкою m, будетъ $\frac{J.\overline{ac}\ sin.\alpha}{r^2}$, гдѣ r означаетъ разстояніе между точкою m и частицею ac, а α уголъ, образуемый лучами, проходящими чрезъ точку m, съ поверхностью частицы. Но $\overline{ac}.sin\alpha$ есть ни что иное какъ проэкція ac' частицы ac; и кромѣ-того,—если мы опишемъ сферу, центръ которой будетъ точка m, а радіусъ mo равенъ единицѣ поверхности,—то получимъ $oo' = \frac{ac'}{r^2}$. Вышеприведенная формула, слѣдовательно, замѣнится формулою $J\ oo'$; она представляетъ количество теплоты, полученной точкою m отъ частицы ac

фиг. 41.



Можно придти къ тому же выводу путемъ менѣе сложнымъ лучи, издаваемые частицею ac, производятъ то же дѣйствіе, какое произвели бы лучи издаваемые проэкціею этой частицы ac, предполагая эту послѣднюю одинаковой температуры съ первою 63; дѣйствіе же проэкціи ac' будетъ то же, что и дѣйствіе лучей издаваемыхъ поверхностью $o\ o'$ находящеюся въ томъ же конусѣ amc 61)

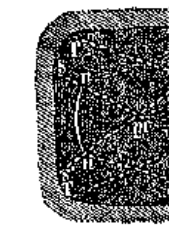
Изъ вышесказаннаго выходитъ, что количество теплоты, исходящее изъ всѣхъ частей ограды и проходящее чрезъ точку m, равняется тому количеству, которое бы получала эта точка отъ поверхности шара, описаннаго вокругъ этой точки радіусомъ равнымъ единицѣ, и имѣющаго одинаковую съ оградою температуру. Количество это, слѣдовательно, не зависитъ ни отъ положенія точки m, ни отъ величины, ни отъ формы ограды

Если различныя части ограды, неимѣющія отражательной способности, обладаютъ различными постоянными температурами, то количество теплоты проходящей чрезъ точку m будетъ $i\alpha+i'\beta+i''\gamma\ldots$, гдѣ i, i', i''. означаютъ напряженія лучей, передаваемыхъ въ нормальномъ направленіи различными частями ограды, а α, β, $\gamma\ldots$ части сферы $m\ o$, пересѣченной конусами, которые свою вершину имѣютъ въ точкѣ m и обнимаютъ части ограды, испускающія лучи различнаго напряженія i, i', i''..... Фурье (Fourier, назвалъ количества $\alpha, \beta, \gamma\ldots$ *ёмкостью* конуса, соотвѣтствующаго каждой части ограды. Мы видимъ, что въ этомъ случаѣ количество теплоты, проходящей чрезъ точку

m, зависитъ отъ ея положенія, чѣмъ ближе точка находится къ наиболѣе нагрѣтой части ограды, тѣмъ больше она получаетъ теплоты, потому-что ёмкость конуса, соотвѣтствующая этой наиболѣе нагрѣтой части, становится тогда гораздо больше.

Если расположить въ оградѣ экранъ ee' (фиг 42) неимѣющій отражательной способности и обладающій одинаковою температурою съ частью rr ограды, лучи которой преграждаетъ экранъ,—то присутствіе его нисколько не измѣнитъ температуры въ точкѣ m, потому-что лучи экрана замѣняютъ лучи части rr' ограды. Справедливость этого можно видѣть еще изъ того, что въ этомъ случаѣ ограда какъ-бы принимаетъ форму $ree'r'$ вмѣсто rr', а мы выше доказали, что форма ограды не имѣетъ никакого вліянія Но еслибы температура экрана была выше температуры rr', то точка m получила бы бо́льшее количество теплоты, потому-что напряженіе лучей издаваемыхъ экраномъ было бы больше напряженія преграждепныхъ лучей. Напротивъ, температура точки m понизится, когда экранъ будетъ холоднѣе части rr', потому-что тогда лучи, замѣняющіе преграждепные лучи части rr', будутъ имѣть меньше напряженія. На этомъ именно обстоятельствѣ, худо объясненномъ, и основывали прежде существованіе холодотворныхъ лучей

фиг. 42.



Предположимъ теперь, что экранъ ee' имѣетъ абсолютную отражательную способность, т.-е. не имѣетъ ни поглощательной, ни испускательной способности, экранъ этотъ будетъ отражать къ точкѣ m теплоту, которую онъ получитъ отъ извѣстной части TT ограды, и присутствіе его будетъ имѣть слѣдствіемъ, что количество теплоты испускаемое частью rr', замѣнится теплотою исходящею изъ TT, что будетъ то же, какъ еслибы мы части rr, закрытой чрезъ ee', приписали температуру TT. Такимъ-образомъ видно, что при одинаковой температурѣ всѣхъ частей ограды, присутствіе отражающаго экрана не измѣняетъ количества теплоты проходящаго чрезъ точку m, и, слѣдовательно, частица помѣщенная въ этой точкѣ приметъ температуру ограды

Предшествующее примѣняется также къ случаю, когда поверхность ee', одаренная абсолютною отражательною способностью, составляетъ часть поверхности самой ограды.

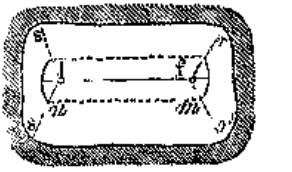
Предположимъ еще, что независимо отъ экрана ee', въ оградѣ на-

ходится сферическое зеркало nn' фиг 42) и что точка m расположена въ сопряженномъ фокусѣ экрана ee', имѣющаго однообразную температуру ограды и лишеннаго отражательной способности. Лучи rr', преграждепные чрезъ ee', замѣнены конусомъ лучей $emе'$ издаваемыхъ экраномъ. Лучи исходящіе изъ ss', преграждепные зеркаломъ nn', замѣнены лучами, отраженными отъ зеркала и исходящими изъ части ao ограды за исключеніемъ лучей преграждаемыхъ экраномъ ee'. Но эти послѣдніе замѣнены лучами, которые издаютъ ee' и которые бывъ отражены отъ зеркала nn', соединяются въ точкѣ m; такимъ образомъ точка m получаетъ опять то же количество теплоты

Если температура тѣла ee болѣе температуры ограды, то количество теплоты въ точкѣ m увеличится, потому что лучи издаваемые этимъ тѣломъ и получаемые въ точкѣ m послѣ отраженія, имѣютъ бо́льшее напряженіе, нежели замѣняемые ими лучи ограды Если напротивъ тѣло ee' холоднѣе ограды, то точка m получитъ мо́льшее количество теплоты. Слѣдовательно, поставленный въ точкѣ m термометръ, имѣющій одинаковую температуру съ оградою, получалъ бы лучи, напряженіе которыхъ было бы менѣе напряженія лучей лучеиспускаемыхъ имъ къ тѣлу ee' и зеркалу nn, и температура его понизилась бы. Явленіе это, оправдывающееся на опытѣ, съ перваго взгляда понятному доказываетъ, что холодъ отражается такъ же, какъ и теплота, но изъ вышесказаннаго видно, что мнѣніе это, въ особенности поддерживаемое Румфортомъ, должно быть отвергнуто, и что явленіе это объясняется естественнымъ образомъ посредствомъ равновѣсія температуры.

Кажущееся отраженіе холода. Опытъ обыкновенно производятъ посредствомъ двухъ сопряженныхъ зеркалъ фиг 43); въ фокусѣ одного изъ нихъ ставятъ сосудъ съ *охлаждающею* смѣсью, напримѣръ изъ мелкаго льда съ поваренною солью, въ фокусѣ другаго помѣщаютъ шарикъ дифференціальнаго термометра, указатель котораго тотчасъ же приближается къ этому шарику. Въ этомъ случаѣ лучи испускаемые частью s, s ограды и преграждепные зеркаломъ n замѣняются лучами издаваемыми холоднымъ тѣломъ f, падающими на зеркало m, и которые, отражаясь отъ зеркала, сосредоточиваются наконецъ въ термометрѣ. Въ замѣнъ этого, термометръ испускаетъ къ тѣлу f

фиг 43.



лучи, имѣющіе бо́льшее напряженіе, отчего и происходитъ замѣчаемое понижеміе температуры.

Здѣсь происходитъ то же, что съ свѣтомъ, если мы помѣстимъ въ точкѣ *f* тѣло чернаго цвѣта, то на экранѣ, расположенномъ въ точкѣ *n*, образуется *темное* пятно, и однакожъ нельзя сказать, что *темнота* отражается.

Опытъ надъ кажущимся отраженіемъ холода былъ произведенъ флорентинскими академиками, но они не вывели изъ него никакого заключенія; впослѣдствіи опытъ этотъ возобновили Гретнеръ (Gretner) и Пикте (Pictet), а Превó (Prevost) объяснилъ его посредствомъ своей остроумной теоріи подвижнаго равновѣсія.

66. Случаи при поверхностяхъ одаренныхъ отражательною способностью. До-сихъ-поръ мы брали поверхности не имѣющія отражательной способности, или же такія, отъ которыхъ все количество падающей теплоты было отражено. Остается изслѣдовать случай имѣющій мѣсто въ дѣйствительности, т. е. предположить, что составныя частицы поверхности ограды и заключающихся въ ней тѣлъ поглощаютъ часть теплоты, отражая остальную. Мы можемъ привести этотъ общій случай къ двумъ частнымъ случаямъ уже разсмотрѣннымъ нами, представивъ себѣ каждую частицу поверхности состоящею изъ двухъ частей — одной одаренной абсолютною отражательною способностью, и другой не имѣющей этой способности. Отношеніе между этими двумя частями зависитъ отъ свойства поверхности. Каждая частица, слѣдовательно, поглощаетъ часть падающей на нее теплоты, которую частица потомъ лучеиспускаетъ, отражаетъ другую; такъ-что общее количество возвращаемой теплоты будетъ то же, какъ еслибы предположить, что вся частица одарена одною только отражательною способностью или же способностью поглощать, а слѣдовательно и испускать все полученное количество теплоты.

Такимъ-образомъ, когда тѣло отражаетъ часть получаемой имъ теплоты, то лучеиспускаемое количество, равное поглощенному, присоединяется къ количеству отраженной теплоты и образуетъ цѣлое, равное всему количеству полученному частицею поверхности. Количество отраженной теплоты зависитъ отъ угла паденія (53); количество косвенно изданной теплоты зависитъ отъ того же обстоятельства, но иначе, какъ это требуетъ законъ *косинусовъ*, по причинѣ вліянія паденія на внутреннюю отражаемость луча, стремящагося снаружу; въ состояніи равновѣсія количество лучеиспускаемой теп-

лоты всегда равняется поглощенному количеству. Обстоятельство это доказываетъ также, что поглощательная способность равняется испускательной,—условіе могущее нарушиться только въ томъ случаѣ, когда издаваемые и впадающіе теплородные лучи будутъ различнаго свойства (58). Быстрый же размѣнъ совершающійся между лучами ограды, температура которой повсюду одинакова, почти мгновенно превращаетъ всѣ лучи различнаго рода въ тожественные, и вышеизложенные законы останутся, слѣдовательно, въ томъ видѣ, какъ ихъ изложилъ Прево.

Въ заключеніе замѣтимъ, что, если температура ограды не повсюду одинакова, то присутствіе воздуха или всякаго другаго газа можетъ измѣнить эти результаты, по причинѣ движеній, происходящихъ вслѣдствіе различныхъ плотностей и переносящихъ теплоту съ одного мѣста на другое.

§ 4. О законахъ охлажденія.

67. Скоростью охлажденія тѣла называютъ пониженіе его температуры въ теченіи одной минуты; въ этотъ кроткій промежутокъ времени, потерю теплоты можно считать однообразной. Потеря эта происходитъ отъ двухъ причинъ — лучеиспусканія и прикосновенія съ окружающею срединою.

О законѣ Ньютона. Какъ мы уже видѣли (41), Ньютонъ принимаетъ, *à priori*, что скорость охлажденія пропорціональна избытку температуры тѣла надъ температурою окружающей средины. Изъ этого закона выходитъ, что пониженія температуры въ послѣдовательныя равныя времена, образуютъ убывающую геометрическую прогрессію. Дѣйствительно, пусть будетъ t избытокъ температуры въ данный моментъ времени, въ теченіи одной минуты пониженіе температуры положимъ будетъ nt, гдѣ n постоянная зависящая, между прочимъ, отъ свойства окружающей средины и отъ испускательной способности тѣла. Избытокъ по прошествіи первой минуты будетъ, слѣдовательно, только $t-nt=t(1-n)$. Въ продолженіи второй минуты пониженіе будетъ $nt(1-n)$, такъ-что къ концу этой минуты избытокъ будетъ только $t(1-n)-nt(1-n)=t(1-n)^2$. Равнымъ-образомъ пониженіе температуры въ третью минуту будетъ $nt(t-n)^2$ и остающійся из-

бытокъ $t(1-n)^2 - nt(1-n)^2 = t(1-n)^3$.... итакъ далѣе; такъ-что по прошествіи m числа минутъ, избытокъ будетъ.

$$(a,\quad T = t(1-n)^m \text{ откуда } Log.\ T = Log.\ t + m\ Log\ (1-n).$$

Для опытной повѣрки этого закона можно принять за охлаждающееся тѣло самый шарикъ термометра, на которомъ наблюдаютъ температуры. Вычитая изъ наблюдаемыхъ въ каждую минуту температуръ температуру окружающихъ тѣлъ, получимъ послѣдовательные избытки и найдемъ, что они образуютъ убывающую геометрическую прогрессію, знаменатель которой $(1-n)$ получается изъ первыхъ двухъ наблюдаемыхъ избытковъ; ибо формула (a) дастъ, принимая $m=1$, $T = t(1-n)$ откуда $(1-n) = \frac{T}{t}$. Посредствомъ этого способа было доказано, что законъ Ньютона справедливъ до извѣстныхъ предѣловъ. Изъ числа занимавшихся повѣркою этого закона посредствомъ опытовъ, должно назвать во-1-хъ Крафта (Kraft) и потомъ Рихмана (Richmann), давшаго также свое имя этому закону. Румфортъ (Rumfort) и Біо (Biot) производили также множество опытовъ по тому же предмету. Мартинъ еще въ 1840 году указалъ на неточность Ньютонова закона при большихъ избыткахъ температуры, а Эрклебенъ (Erxleben) показалъ, что отступленія отъ этого закона бываютъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше избытки, что̀ было подтверждено впослѣдствіи Дельтономъ (Dalton) Наконецъ Деларошъ (Delaroche) пришелъ къ тому же заключенію относительно охлажденія, происходящаго вслѣдствіе одного только лучеиспусканія. Въ такомъ положеніи находился вопросъ, пока Дюлонгъ (Dulong) и Пти (Petit) не сдѣлали его предметомъ своихъ ученыхъ изслѣдованій.

68. Опыты Дюлонга (Dulong) **и Пти** (Petit). Дюлонгъ и Пти посредствомъ опытовъ, могущихъ служить образцомъ для физиковъ, пытались найти общіе законы охлажденія. Чтобы избѣгнуть большей или меньшей трудности, съ которою теплота изнутри тѣла передается къ его поверхности, эти ученые производили опыты свои надъ жидкостями, въ массѣ которыхъ происходили движенія между частями имѣющими различную температуру, такимъ-образомъ вся масса получаетъ однообразную температуру Охлаждающееся тѣло составлялъ ртутный термометръ.

Метода вычисленія. Чтобы посредствомъ выводовъ, полученныхъ изъ наблюденій одѣланныхъ чрезъ каждую минуту, вычислить ско-

рость охлажденія относительно какого бы то ни было избытка температуры, Дюлонгъ и Пти употребили слѣдующую методу. пусть будутъ

$$A, B, C, D \ldots\ldots T$$

избытки температуры замѣченные по прошествіи

$$0', 1', 2', 3' \ldots\ldots t'.$$

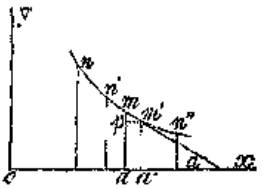
Еслибы законъ Ньютона былъ вѣренъ, мы бы получили (67)

$$B = Am, \; C = Bm = Am^2 \ldots\ldots T = Am^t,$$

принимая m за постоянную, зависящую отъ свойства тѣла. На дѣлѣ же это не вполнѣ оправдывается, въ-особенности если избытки A, B, C.... значительны. Но понятно, что всегда можно будетъ нѣкоторое число изъ этихъ количествъ выразить формулою $T = Am^{(\alpha t + \beta t^2)}$, опредѣляя постоянныя m, α, β посредствомъ трехъ непосредственныхъ наблюденій довольно близкихъ между собою, чтобы отступленія отъ закона, выраженнаго этою формулою, были почти незамѣтны; и избытки T, содержащіеся между предѣлами избытковъ полученныхъ изъ наблюденія, или только незначительно уклоняющіеся отъ этихъ предѣловъ, получатся изъ этого выраженія. Вычисляя m, α, β посредствомъ трехъ другихъ непосредственныхъ наблюденій, столь же близкихъ, получимъ новую формулу для опредѣленія избытковъ, содержащихся между тѣми, которые служили для вычисленія постоянныхъ, итакъ далѣе. Формулы эти, часто употребляемыя въ физикѣ, называются *формулами интерполяціи* или *эмпирическими формулами*, они имѣютъ то преимущество, что помощью небольшаго числа можно вычислять величины, заключающіяся въ извѣстныхъ предѣлахъ, полученныхъ прямо изъ опыта, и изъ опредѣленія этихъ величинъ устранять неправильности и неточности, которыя всегда встрѣчаются въ результатахъ получаемыхъ прямо изъ наблюденій.

Вычисленіе скорости. Уравненіе $T = Am^{t\alpha + \beta t^2}$ можетъ быть разсматриваемо какъ уравненіе кривой, отнесенной къ двумъ прямоугольнымъ осямъ ox, oy (черт. 44), которой абсциссы будутъ величины t, а ординаты величины T. Назначимъ на этихъ осяхъ сперва положеніе трехъ точекъ n, n', n'', которыя соотвѣтствуютъ тремъ парамъ вели-

фиг. 44.



чинъ T и t, служившихъ для вычисленія постоянныхъ m, α, β и соединимъ эти три точки кривою, сколь-возможно правильнѣе. Кривая эта представитъ искомое уравненіе. Каждой величинѣ m, α, β будетъ соотвѣтствовать такимъ-образомъ дуга кривой, посредствомъ которой можно будетъ найти величину t, соотвѣтствующую данному избытку T, отъискавъ на кривой точку, которая соотвѣтствуетъ избытку T и измѣривъ соотвѣтствующую ему абсциссу t.

Чтобы получить скорость охлажденія, соотвѣтствующую данному избытку, замѣтимъ, что ее можно назвать отношеніемъ между безконечно-малымъ пониженіемъ температуры и безконечно-малымъ временемъ, въ которомъ совершается это пониженіе. Такимъ-образомъ пусть aa' (фиг. 44) будетъ безконечно-малое время, и mp уменьшеніе температуры, то скорость будетъ $\frac{mp}{aa'} = \frac{mp}{pm'}$. Въ треугольникѣ же $mm'p$ имѣемъ $\frac{mp}{pm'} = tang.\ \overline{mm'p} = tang\ \alpha$, принимая, что безконечно малая дуга mm', будучи продолжена, совпадаетъ съ касательною къ кривой и означая чрезъ α уголъ, образуемый этою касательною съ осью абсциссъ. Мы видимъ, слѣдовательно, что скорость охлажденія, соотвѣтствующая избытку температуры $T = am$, выражается тангенсомъ угла, образуемаго касательною, проведенною къ кривой въ точкѣ m, съ осью x. Такимъ-образомъ вычисленная скорость выйдетъ всегда слишкомъ большою, потому-что дуга mm' не можетъ быть безконечно-малою въ промежутокъ времени aa', какъ бы малъ онъ ни былъ, такъ-что касательная въ точкѣ m не совпадаетъ совершенно съ этою дугою; но неточность эта можетъ быть пренебрегаема, если взять время aa' достаточно-малое *.

69. О вліяніи массы жидкости, ея свойствъ и т. д. — Принявъ этотъ способъ вычисленія, Дюлонгъ и Пти прежде всего пытались узнать, имѣютъ ли вліяніе на искомые законы масса охлаждающейся жидкости, ея свойства, видъ резервуара въ которомъ она со-

---

*) Дюлонгъ и Пти не опредѣляли скорости охлажденія посредствомъ графическаго построенія, но получали ее изъ вычисленія: дифференцируя уравненіе (a) $T = Am^{(\alpha t + \beta t^2)}$ получимъ $\frac{dT}{dt} = T\ (\alpha + 2\beta t)\ Log.\ m$, что дастъ скорость $\frac{dT}{dt}$. Величина t, соотвѣтствующая T, опредѣляется посредствомъ уравненія (a), также какъ и посредствомъ кривой въ графическомъ способѣ.

держится и свойство наружной его поверхности. Для этого они сперва подвергнули охлаждение въ воздухѣ три термометра, которыхъ резервуары имѣли въ діаметрѣ 2^{cm}, 4^{cm} и 7^{cm}, и опытъ показалъ, что для однѣхъ и тѣхъ же избытковъ, скорости охлажденія этихъ снарядовъ не были тѣ же, но что содержаніе между скоростями, найденными для двухъ изъ нихъ, было всегда одно и то же. такъ-что отъ ряда скоростей, полученныхъ для одного изъ термометровъ, можно было переходить къ скоростямъ какого-либо изъ двухъ остальныхъ, помножая всѣ члены этого ряда на одинъ и тотъ же множитель. Слѣдовательно законы для всѣхъ трехъ снарядовъ суть тѣ же, и только абсолютныя величины скоростей, повинующихся этимъ законамъ, измѣняются отъ одного снаряда къ другому.

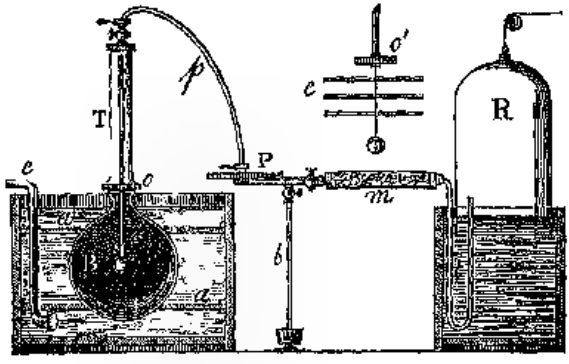
Термометры одинаковой величины погружены были въ сосуды наполненные водою, алькоолемъ и сѣрною кислотою; три термометра были одинаковой ёмкости, но первый имѣлъ сферическій резервуаръ, а два остальные имѣли резервуаръ цилиндрическій и высота одного изъ нихъ равнялась радіусу основанія, а высота другаго была въ четыре раза болѣе этого радіуса; наблюденія надъ ними показали, что законы охлажденія также не зависятъ ни отъ свойства жидкости, ни отъ формы резервуара. Наконецъ два сосуда, одинъ изъ стекла, а другой изъ бѣлой жести, наполненные оба водой, показали, что законы для этихъ даухъ родовъ оболочекъ различны, потому-что если взять отношенія между скоростями соотвѣтствующими однимъ и тѣмъ же избыткамъ температуры, то отношенія эти не будутъ неодинаковы; они увеличиваются съ уменьшеніемъ избытковъ температуръ. Доказавъ это, принялись отъискивать законы охлажденія, вслѣдствіе одного только лучеиспусканія, т-е. въ пустомъ пространствѣ, а потомъ законы охлажденія вслѣдствіе прикосновенія тѣла, съ окружающимъ газомъ Мы опишемъ сперва снаряды, придуманные для произведенія опытовъ въ пустомъ пространствѣ или въ какомъ-либо данномъ газѣ

76. Описаніе снарядовъ. — Для наблюденія охлажденія, было взято два термометра Резервуаръ одного изъ нихъ имѣлъ 6^{cm} въ діаметрѣ, резервуаръ другаго 2 сантиметра. Послѣдній служилъ при незначительныхъ избыткахъ температуры, для сокращенія времени опытовъ. Впрочемъ можно было переходить отъ показаній одного изъ нихъ къ показаніямъ другаго, испытавъ каждый изъ нихъ при нѣсколькихъ общихъ температурахъ.

Ограда, въ которой происходило охлажденіе, состояла изъ пустаго

шара изъ тонкой мѣди *B* (фиг. 45), имѣющаго въ діаметрѣ 30 сан-

фиг. 45.



тиметр., горлышко шара, тщательно отшлифованное, помѣщено было горизонтально. Шаръ этотъ погружался въ ванну, наполненную водою почти до отверстія *o* и поддерживался двумя поперечными перекладинами *a*, *a*'. Онъ принимаетъ температуру воды; температуру эту измѣняютъ, подбрасывая въ воду куски льда, или же впуская въ нее, посредствомъ трубки *c*, пары кипящей воды Внутренность шара покрыта сажею, такъ-что все количество теплоты, издаваемое термометромъ къ внутренней поверхности шара, поглощается ею, если-бы незначительное количество было отражаемо, то количество это, измѣняясь почти одинаково съ потерями теплоты термометра, причиняло бы погрѣшность, которая бы измѣняла результаты пропорціональнымъ образомъ. Горлышко шара закрываютъ отшлифованною наждакомъ стеклянною крышкою *o*, имѣющею нѣсколько отверстій, изъ коихъ одно въ центрѣ, въ которомъ утверждаютъ посредствомъ пробки трубку термометра. Часть трубки, раздѣленная на градусы отдѣлена отъ резервуара посредствомъ чрезвычайно узкой части, длина которой равняется радіусу шара,—эта узкая часть трубки служитъ для уменьшенія массы ртути внѣ шарика термометра и для воспрепятствованія образованію теченій въ жидкости самаго шарика Раздѣленная трубка покрыта стеклянным цилиндромъ *T*, прилаженнымъ, помощью отшлифованныхъ наждакомъ краевъ, къ стеклянной крышкѣ *o* Въ верхней части цилиндра находится кранъ, къ которому придѣлана свинцовая трубка *p*, имѣющая сообщеніе съ воздушнымъ насосомъ, тарелка котораго представлена въ *P*.

Производство опыта въ пустомъ пространствѣ. Для наблюденія

скоростей охлажденія въ пустомъ пространствѣ, нагрѣваютъ, посредствомъ раскаленнаго угля, термометръ до кипѣнія ртути, отдѣливъ его предварительно отъ снаряда вмѣстѣ съ стеклянною крышкою *o*. Экраны, представленные въ *e* и помѣщенные подъ кругомъ *o'*, служатъ для предохраненія сего послѣдняго, равно какъ и раздѣленной трубки отъ дѣйствія жара Потомъ вновь ставятъ *o'* въ *o*, устанавливаютъ цилиндръ *T* и какъ-можно скорѣе производятъ пустоту въ шарѣ, замѣчая показанія барометра *b* при воздушномъ насосѣ.

Производство опыта въ пространствѣ наполненномъ газомъ. Для наблюденія охлажденія въ пространствѣ наполненномъ газомъ, поступаютъ предварительно какъ сказано выше, и потомъ впускаютъ въ шаръ газъ, съ которымъ хотятъ произвести опытъ Газъ этотъ сначала собираютъ въ газометрѣ R, придерживаемомъ посредствомъ противовѣса; потомъ чрезъ согнутую трубку *t*, поднимающуюся надъ поверхностью воды газометра, газъ проходитъ для просушки въ толстую трубку *m*, наполненную веществами вбирающими сырость, напр. мелкими кусочками хлористаго кальція, и изъ этой трубки проникаетъ сквозь центръ тарелки *P* въ шаръ *B*. Чтобы выгнать остатокъ воздуха содержащагося въ шарѣ, изъ него вновь вытягиваютъ воздухъ, и потомъ опять впускаютъ газъ, наблюдая, чтобы онъ имѣлъ опредѣленное давленіе, что узнается помощью барометра *b* при воздушномъ насосѣ. Когда опытъ надлежало произвести въ воздухѣ, газъ просто впускали чрезъ трубку *m*, въ которой онъ просушивался Размѣры термометра были такіе, что въ пустомъ пространствѣ можно было начинать наблюденія съ 300°, а въ пространствѣ, наполненномъ газомъ, наблюденія начинали только съ 250°, потому-что надобно было выждать, пока газъ приметъ температуру шара B

Метода наблюденія Приготовивъ снарядъ для производства опыта въ пустомъ пространствѣ или же наполненномъ воздухомъ, наблюдали посредствомъ катетометра и секундныхъ часовъ температуры, показанныя термометромъ въ равные промежутки времени, поддерживая при этомъ постоянную температуру воды въ ваннѣ; потомъ рядъ этихъ наблюденій подраздѣляли на нѣсколько частей, изъ которыхъ каждую представляли посредствомъ формулы вида $Am^{(t\alpha+\beta t^2)}$, служившей для вычисленія скоростей охлажденія при различныхъ избыткахъ температуры (68). Опыты были сдѣланы, заставляя избытки измѣняться отъ 20° до 20°, и попеременно надъ термо-

метромъ, имѣвшимъ посеребренный шарикъ и тѣмъ же термометромъ съ шарикомъ обнаженнымъ.

71. Поправки.—1-е. Наблюдаемая температура слишкомъ низка, потому-что ртуть, содержащаяся въ трубкѣ, скоро принимаетъ температуру окружающаго воздуха, которая ниже температуры шарика термометра. Къ наблюдаемой температурѣ надлежитъ, слѣдовательно, прибавить число градусовъ соотвѣтствующихъ расширенію, которое бы испытала ртуть трубки, если бы доведена была отъ температуры окружающаго воздуха до температуры шарика термометра. Чтобы сдѣлать эту поправку, пусть x будетъ истинная температура шара, T температура, которую онъ показываетъ, t температура окружающаго воздуха и l число дѣленій трубки занимаемыхъ ртутью при t°. Расширеніе ртути занимающей эти l' дѣленій, будетъ $\frac{l'}{6480}$ для 1° и для $(x - t^\circ)$ оно будетъ $\frac{l'(x-t)}{6480}$. Слѣдовательно, искомая температура $x = T + \frac{l'(x-t)}{6480}$, откуда получается величина x. Такъ-какъ T мало разнится отъ x, то во второмъ членѣ x можно замѣнить чрезъ T, и тогда поправка будетъ $\frac{l'(T-t)}{6480}$.

2-е. Всѣ термометры были приведены къ воздушному термометру, т.-е. замѣнены температурами, которыя бы показалъ воздушный термометръ при тѣхъ же самыхъ условіяхъ. Мы увидимъ, при изученіи расширенія газовъ, какимъ-образомъ можетъ быть совершена эта замѣна.

3-е Полученныя скорости охлажденія слишкомъ велики, потому-что холодная ртуть проникаетъ въ шарикъ термометра, когда ртуть въ шарикѣ сжимается Зная количество и температуру проникнувшей въ шарикъ ртути, равно какъ и массу и температуру ртути въ самомъ шарикѣ, вычисляли охлажденіе происходящее отъ этой примѣси ртути, перешедшей изъ трубки въ шарикъ.

72 Охлажденіе въ пустомъ пространствѣ. — Скорости охлажденія въ пустомъ пространствѣ содержатъ маленькую погрѣшность, происходящую отъ присутствія нѣкотораго количества воздуха въ шарѣ B. Погрѣшность эту въ скоростяхъ, полученныхъ изъ вычисленія, поправляли, вычитая изъ нихъ количество соотвѣтствующее теплотѣ, увлекаемой воздухомъ оставшимся въ шарѣ; а это количество вычисляютъ, какъ мы увидимъ, посредствомъ скорости охлажденія въ пустомъ пространствѣ, содержащей эту незначительную неточность; но какъ по-

правка весьма незначительна, то вліяніе этой погрѣшности совершенно незамѣтно.

Первые опыты были произведены надъ термометромъ съ обнаженнымъ шарикомъ. По полученіи ряда скоростей охлажденія, для избытковъ на каждые 20°, скорости эти сравниваютъ взаимно для вывода закона. При этомъ съ перваго раза обнаруживается, что абсолютная температура ограды должна имѣть вліяніе на охлажденіе при одномъ и томъ же избыткѣ. Дѣйствительно, пусть θ эта температура ограды и $t+\theta$ температура тѣла, лучеиспускающаго теплоту въ пустомъ пространствѣ $F(t+\theta)$ и $F(\theta)$ представятъ лучеиспусканіе тѣла и лучеиспусканіе ограды, гдѣ F означаетъ неизвѣстную функцію абсолютной температуры, выражающую законъ лучеиспусканія. Тогда, на основаніи теоріи подвижнаго равновѣсія температуръ, скорость охлажденія будетъ:

$$V = F(t+\theta) - F(\theta).$$

Еслибы Ньютоновъ законъ былъ справедливъ, то функціи F были бы пропорціональны ихъ перемѣннымъ, и равны, первая $m(t+\theta)$, вторая $m\theta$, и скорость охлажденія была бы mt, т.-е. не зависѣла бы отъ температуры ограды. Но какъ законъ этотъ неточенъ, то надлежало бы найти другой, который бы опредѣлилъ зависимость скоростей охлажденія отъ абсолютныхъ температуръ ограды.

I. Законъ относительно температуры ограды.

Доводя постепенно температуру ограды до 0°, 20°, 40°, при одномъ и томъ же избыткѣ температуры термометра, замѣтили вопервыхъ, что, при одномъ и томъ же избыткѣ, охлажденіе тѣмъ быстрѣе, чѣмъ выше температура ограды. Взявъ потомъ отношеніе между скоростями, соотвѣтствующими однимъ и тѣмъ же избыткамъ, когда ограда имѣла попеременно 0° и 20°, послѣ того 20° и 40°, затѣмъ 40° и 60°, наконецъ 60° и 80°, находили, что отношеніе это всегда, приблизительно, одно и то же. Въ опытахъ Дюлонга и Пти отношеніе это равнялось 1,105 для какого бы ни было избытка. Отсюда должно заключить: во-1-хъ, что абсолютная температура ограды не измѣняетъ закона относительно избытка температуры, во-2-хъ, что *скорости охлажденія въ пустомъ пространствѣ, при постоянномъ избыткѣ температуры, возрастаютъ въ геометриче-*

ской прогрессіи, когда температура ограды возрастаетъ въ прогрессіи ариѳметической, и что отношеніе геометрической прогрессіи остается одно и то же, при какомъ бы ни было наблюдаемомъ избыткѣ температуры.

II. Законъ относительно избытковъ температуры.

73. Вышеизложенный законъ можетъ служить для отъисканія закона охлажденія, зависящаго отъ избытковъ температуры; приведенный законъ показываетъ, что скорость охлажденія выражается формулою:

$$(b, \qquad V = F(t+\theta) - F(\theta) = \varphi(t)\, a^{\theta};$$

ибо, если избытокъ t постоянный, то V измѣняется въ геометрической прогрессіи, когда θ измѣняется въ прогрессіи ариѳметической. a означаетъ постоянную и $\varphi(t)$ функцію отъ t, которую слѣдуетъ найти Для отъисканія ея послѣдуемъ методѣ Бланше (Blanchet), болѣе элементарной, нежели метода, которую избрали Дюлонгъ и Пти. Въ уравненіи (b) возьмемъ сперва $\theta = o$; уравненіе получится $F(t) - F(o) = \varphi(t)$. Теперь пусть будетъ попеременно $t = \theta + t$, $t = \theta$, выйдетъ:

$$F(\theta + t) - F(o) = \varphi(\theta + t), \quad F(\theta) - F(o) = \varphi(\theta);$$

и вычитая эти уравненія одно изъ другаго, получимъ:

$$F(\theta + t) - F(\theta) = \varphi(\theta + t) - \varphi(\theta),$$

А какъ первый членъ есть ни что иное какъ первый членъ уравненія (b), то и получимъ:

$$\varphi(\theta + t) - \varphi(\theta) = \varphi(t)\, a^{\theta} \quad \text{или} \quad \varphi(\theta + t) = \varphi(\theta) + \varphi(t)\, a^{\theta}.$$

Возьмемъ теперь θ постепенно равное t, $2t$, $3t$,... $(n-1)\, t$, получимъ,

$$\varphi(2t) = \varphi(t) + \varphi(t)\, a^{t} = \varphi(t)\,(a^{t} + 1),$$

$$\varphi(3t) = \varphi(2t) + \varphi(t)\, a^{2t} = \varphi(t)\,(a^{2t} + a^{t} + 1).$$

. . . . . .

. . . . . .

$$(nt)=\varphi[(n-1)t]+\varphi[(n-1)t]a^{(n-1)t}=\varphi(t)[a^{(n-1)t}+a^{(n-2)t}+\ldots a^{t}+1]$$

Въ послѣднемъ уравненіи количество между скобками есть сумма членовъ геометрической прогрессіи, знаменатель которой составляетъ a^t. Взявъ эту сумму выйдемъ:

$$\varphi(nt)=\varphi(t)\frac{a^{nt}-1}{a^{t}-1} \text{ или } \frac{\varphi(nt)}{a^{nt}-1}=\frac{\varphi(t)}{a^{t}-1}.$$

Мы увидимъ, слѣдовательно, что отношеніе между количествомъ $\varphi(nt)$ и количествомъ $a^{nt}-1$ постоянное, каковъ бы ни былъ t. Назовемъ это отношеніе чрезъ m, получимъ:

$$m=\frac{\varphi(t)}{a^{t}-1}, \text{ откуда } \varphi(t)=m(a^{t}-1).$$

Вставивъ эту величину въ уравненіе (b), получимъ скорость охлажденія

$$(c) \qquad V=ma^{\theta}(a^{t}-1),$$

уравненіе содержащее законы охлажденія въ пустомъ пространствѣ. Если температуру θ ограды предположить постоянною, то ma^{θ} будетъ постоянная величина и мы видимъ, что

Скорости охлажденія тѣла, въ оградѣ заключающей пустое пространство и имѣющей постоянную температуру, возрастаютъ въ геометрической прогрессіи, члены которой уменьшаются на постоянное количество (ma^{θ}), когда избытки температуры t образуютъ убывающую ариѳметическую прогрессію.

Знаменатель a этой прогрессіи можетъ быть вычисленъ для употребленнаго термометра, ибо было найдено, что $a^{20}=1,165172$, слѣдовательно:

$$a=\sqrt[20]{1,165}=1,077$$

Постоянная m вычисляется посредствомъ найденной величины V, соотвѣтствующей даннымъ величинамъ θ и t; ее нашли равною 2,037.

Дюлонгъ и Пти повѣрили впослѣдствіи формулу (c), сравнивъ выведенныя изъ нея величины для V съ тѣми, которыя получались непосредственно изъ опыта, и оказалось, что согласіе между этими

величинами было всегда самое удовлетворительное, въ протяженіи 300° стоградусной скалы.

74. Опыты съ посеребреннымъ термометромъ. — Вычисливъ скорости охлажденія термометра съ посеребреннымъ шарикомъ и скорости для термометра съ шарикомъ обнаженнымъ, при однѣхъ и тѣхъ же температурахъ ограды и одинаковыхъ избыткахъ, нашли, что между ними находится всегда постоянное отношеніе. Формула (c) примѣняется, слѣдовательно, также къ посеребренному термометру, сохраняя постоянную a, но измѣняя величину m. Величина эта для посеребреннаго термометра была найдена равною 0,357.

Значительное различіе между тѣлами, какъ серебро и стекло, повело Дюлонга и Пти къ тому заключенію, что на законы выраженные формулою (c) можно смотрѣть какъ на законы примѣнимые ко всѣмъ тѣламъ.

75. Слѣдствія. — Если мы сдѣлаемъ $\theta = -\infty$, т.-е. предположимъ, что термометръ охлаждается въ пустомъ пространствѣ, неимѣющемъ теплоты, формула (c) будетъ $V = ma^T$, означая чрезъ T температуру $t + \theta$; формула эта показываетъ, что *скорости охлажденія тѣла въ пустомъ пространствѣ, не испускающемъ теплоты, уменьшались бы въ геометрической прогрессіи, еслибы температуры уменьшались въ прогрессіи ариѳметической;* кромѣ того знаменатель этой геометрической прогрессіи будетъ одинъ и тотъ же для всѣхъ тѣлъ. Законъ этотъ составляетъ законъ *частичнаго лучеиспусканія.* Отсюда бы слѣдовало заключить, что способности лучеиспусканія различныхъ веществъ сохраняютъ при всѣхъ температурахъ постоянное отношеніе *)

Для совершеннаго прекращенія лучеиспусканія, надобно бы было сдѣлать $T = -\infty$, что значило бы, что абсолютный нуль удаленъ на безконечно-большое разстояніе. Мнѣніе это ведетъ къ тому заключенію, что количество теплоты, содержащееся въ тѣлѣ, безконечно; но при этомъ предполагается, что каждому градусу температуры соотвѣтствуетъ одно и то же количество теплоты, тогда-какъ, при разсматриваніи удѣльной теплоты, мы увидимъ, что напротивъ ко-

---

*) Отношеніе это для стекла и серебра найдено равнымъ 5,707, что дастъ 6,33 для испускательной способности серебра, въ отношеніи къ сажѣ, выраженной числомъ 100. Число это слишкомъ велико (44), что должно приписать неточности методы охлажденія, относительно опредѣленій этого рода.

личество это уменьшается съ пониженіемъ температуры, а тогда можетъ случиться, что законъ этого уменьшенія таковъ, что сумма количествъ теплоты, соотвѣтствующихъ каждому градусу, составляетъ конечную величину.

Законъ этотъ частичнаго лучеиспусканія можетъ привести насъ къ закону выраженному формулою (*c*). Дѣйствительно, для полученія охлажденія тѣла въ пустомъ пространствѣ, заключенномъ въ оградѣ лучеиспускающей теплоту, достаточно изъ количества ma^{T} вычесть количество ma^{θ} теплоты, испускаемой оградой, и выйдетъ:

$$V = m\,(a^{T} - a^{\theta}) = ma^{\theta}\,(a^{t} - 1),\ \text{сдѣлавъ}\ T = t + \theta.$$

Слѣдовательно, если ma^{θ} величина постоянная, то скорости образуютъ геометрическую прогрессію, всѣ члены которой уменьшены на постоянное количество, между-тѣмъ какъ избытки температуры образуютъ прогрессію ариѳметическую.

Равенство способностей поглощательной и испускательной. Изъ формулы (*c*) выходитъ, что $ma^{t+\theta}$ представляетъ теплоту изданную тѣломъ въ пустомъ пространствѣ, и ma^{θ} теплоту получаемую тѣломъ отъ ограды или теплоту имъ поглощаемую Итакъ, ma^{θ} выражаетъ поглощательную способность А какъ оно въ то же время выражаетъ лучеиспускаемое количество или испускательную способность, когда температура равна θ, то выходитъ, что способность эта равняется поглощательной способности, и равенство это доказано здѣсь до 300°. Мы можемъ, слѣдовательно, сказать, что:

Скорости охлажденія или нагрѣванія (т.-е. лучеиспускательная или поглощательная способности), уменьшаются въ геометрической прогрессіи, когда температуры уменьшаются въ прогрессіи ариѳметической, и знаменатель первой прогрессіи одинъ и тотъ же для всѣхъ тѣлъ.

Замѣтимъ, наконецъ, что всѣ предъидущіе законы предполагаютъ температуры наблюденныя посредствомъ воздушнаго термометра.

76. Законы охлажденія въ газахъ. — Чтобы получить скорость охлажденія, причиняемаго присутствіемъ газа наполняющаго шаръ *B* (фиг. 45), достаточно вычесть изъ дѣйствительныхъ скоростей охлажденія, скорости охлажденія въ пустомъ пространствѣ при

тѣхъ же условіяхъ Эти послѣднія скорости могутъ быть вычислены посредствомъ формулы (c).

Первый результатъ, который нашли Дюлонгъ и Пти, употребивъ термометръ обнаженный, а потомъ посеребренный, состоялъ въ томъ, *что свойство поверхности не имѣетъ вліянія на потери теплоты, причиняемыя прикосновеніемъ газа*. Результатъ этотъ былъ полученъ въ воздухѣ и въ водородномъ газѣ. Лесли, еще до этого, вывелъ косвеннымъ образомъ то же заключеніе изъ опытовъ сдѣланныхъ надъ воздухомъ въ движеніи (43)

Дѣйствіе температуры ограды. Для измѣненія температуры ограды и газа, нагрѣваютъ болѣе или менѣе воду окружающую шаръ *B*, причемъ наблюдаютъ, чтобы газъ, принимая температуру воды, могъ свободно расширяться. Дюлонгъ и Пти нашли въ этомъ случаѣ, что, при одномъ и томъ же избыткѣ, газъ всегда отнимаетъ одинаковое количество теплоты, какова бы ни была его температура. Они производили опыты надъ *воздухомъ*, *водородомъ*, *углекислымъ газомъ* и *углеродистоводороднымъ газомъ*. Изъ этого выводятъ тотъ общій законъ, что:

Скорость охлажденія, причиняемаго собственно прикосновеніемъ одного лишь газа, зависитъ, при одномъ и томъ же избыткѣ температуры, отъ плотности и температуры газа, но зависимость эта такого рода, что скорость остается таже, если плотность и температура газовъ измѣняются такимъ-образомъ, что упругость ихъ остается постоянная.

По этому, въ изслѣдованіяхъ касательно газовъ, можно ограничиться принятіемъ въ соображеніе одной лишь ихъ упругости.

Законъ относительно давленія. Принявъ вышеизложенный законъ, измѣрили скорости охлажденія въ воздухѣ при давленіяхъ въ 72^{cm} 36^{cm}, 18^{cm}, 9^{cm}, т.-е. при давленіяхъ содержащихся между собою какъ числа 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$. Взявъ отношенія между скоростями при двухъ послѣдовательныхъ давленіяхъ для различныхъ избытковъ, нашли, что отношенія эти всегда выражались однимъ и тѣмъ же постояннымъ числомъ 1,336, каковы бы ни были избытки температуръ и разсматриваемыя два послѣдовательныя давленія. Изъ результата этого, повѣреннаго также надъ водороднымъ, углекислымъ и углеродистоводороднымъ газами, вытекаютъ слѣдующіе законы.

1-е. *Законъ, на основаніи котораго скорость охлажденія, производимаго прикосновеніемъ газа, измѣняется съ измѣненіемъ избит-*

ковъ температуры, остается тотъ же самый, какова бы ни была упругость газа.

2-е. *Если упругость газа измѣняется въ геометрической прогрессіи, то охлаждающая способность газа измѣняется также въ геометрической прогрессіи.* Если знаменатель первой прогрессіи будетъ 2, то знаменатель второй будетъ среднимъ числомъ 1,366 для воздуха, 1,301 для водорода, 1,431 для углекислаго газа и 1,415 для углеродистоводороднаго газа.

Результатъ этотъ можетъ быть выраженъ проще: пусть P охлаждающая способность воздуха при давленіи p. При давленіи $2p$ способность эта будетъ P (1,366), при давленіи $4p$..., P 1,366 ^{2} при давленіи $2^n p$, $P\,(1{,}366)^n$. Положимъ, $2^n p = p'$ и $P\,(1{,}366)^n = P'$, получимъ, взявъ для исключенія n, логариѳмы:

$$\frac{Log.\ P' - Log.\ P.}{Log.\ (1{,}366)} = \frac{Log.\ p' - Log.\ p}{Log.\ 2}, \text{ отсюда } \frac{P'}{P} = \left(\frac{p'}{p}\right)^{0,45}$$

при переходѣ отъ логариѳмовъ къ числамъ. Для водорода показатель будетъ 0,38, для углекислаго газа 0,517 и для углеродистоводороднаго 0,501. Изъ этого видно, *что охлаждающая способность газа, при всѣхъ другихъ равныхъ условіяхъ, пропорціональна извѣстной степени его упругости,* показатель которой измѣняется сообразно съ газами.

77. Законъ относительно избытковъ температуры.— Сперва было найдено, что при постоянномъ давленіи, и при одной и той же температурѣ ограды, законъ относительно избытковъ температуры для четырехъ вышепоименованныхъ газовъ остается тотъ же самый И дѣйствительно, отношеніе между охлаждающими способностями двухъ газовъ остается тѣмъ же самымъ, каковъ бы ни былъ избытокъ Мы уже видѣли, что законъ этотъ также не зависитъ отъ упругости одного и того же газа.

Наконецъ послѣ множества опытовъ, Дюлонгъ и Пти нашли слѣдующій законъ.

Скорости охлажденія, производимаго однимъ лишь прикосновеніемъ газа, возрастаютъ въ геометрической прогрессіи, если избытки температуры тѣла также возрастаютъ въ геометрической прогрессіи. Но между-тѣмъ какъ знаменатель этой послѣдней прогрессіи 2, знаменатель первой будетъ 2,35. Употребляя методу вычисленія 76) изложенную выше по поводу закона о давленіяхъ, приходятъ къ слѣдую-

щему выводу. *охлаждающая способность газа пропорциональна избытку температуры возвышенному въ степень 1,233.*

78. Общее выраженіе для скорости охлажденія причиняемаго газомъ. — Мы видѣли, что только избытокъ температуры t и давленіе p должны быть приняты въ соображеніе (76), и что охлаждающая способность пропорціональна извѣстной степени упругости (76) и избытку температуры въ степени 1,233 (77), откуда получимъ:

$$V = np^c t^b,$$

гдѣ b, для всѣхъ газовъ и для всѣхъ тѣлъ, равняется 1,233; c также постоянна для всѣхъ тѣлъ и измѣняется только съ измѣненіемъ газа, а величина n измѣняется съ свойствомъ газа и размѣрами тѣла.

Охлаждающая способность газовъ. Предъидущая формула можетъ служить для сравненія охлаждающихъ способностей различныхъ газовъ. Способности эти измѣняются съ давленіемъ; но, въ предѣлахъ измѣненій атмосфернаго давленія, измѣненія охлаждающихъ способностей столь незначительны, что ихъ можно пренебречь. Принимая за единицу охлаждающую способность воздуха при давленіи $0^m,76$, получимъ для водорода 3,45, — для углекислоты 0,965. Сравнивая охлажденіе причиняемое газомъ съ охлажденіемъ производимымъ лучеиспусканіемъ, находятъ, что воздухъ отнимаетъ у обнаженнаго термометра нѣсколько менѣе теплоты, нежели лучеиспусканіе и въ 5 или 6 разъ болѣе, когда термометръ посеребренъ. Водородъ отнимаетъ у обнаженнаго термометра по-крайней-мѣрѣ втрое болѣе теплоты противъ теряемой термометромъ посредствомъ лучеиспусканія и отъ 10 до 12 разъ болѣе, когда термометръ посеребренъ.

Законъ, о которомъ мы сейчасъ говорили, былъ доказанъ только для температуръ до 250°; но было полезно повѣрить его и для болѣе высокихъ температуръ. Чтобы сдѣлать эту повѣрку, Дюлонгъ и Пти руководствовались слѣдующею методою, идея которой принадлежитъ Лесли. пусть v и v' скорости охлажденій производимыхъ прикосновеніемъ воздуха и лучеиспусканіемъ для термометра съ обнаженнымъ шарикомъ; v будетъ одно и то же для посеребреннаго термометра (76), но v' измѣнится въ $\frac{v'}{5,707}$ (75). Означивъ чрезъ a и b

скорости полныхъ охлажденій для каждаго изъ обоихъ термометровъ, получимъ:

$$a = v + v',\ b = v + \frac{v'}{5,707},$$ откуда, исключивъ v',

$$d \qquad v = \frac{5,707.\ b - a}{4,707}.$$

Такимъ-образомъ получится охлаждающая способность одного лишь воздуха, чрезъ наблюденіе охлажденій b и a обоихъ термометровъ въ воздухѣ. Способомъ этимъ были найдены результаты согласные съ выводами, сдѣланными изъ формулы $v = n' t^b$, въ которой n' измѣняется съ упругостью. Повѣрка эта была доведена до 360° *). Употребляя предъидущую формулу предполагаютъ, что отношеніе 5,707, между испускательными способностями стекла и серебра, остается одно и то же при всякой температурѣ, и въ то же время вычисленіе это служитъ для повѣрки этого предположенія посредствомъ опыта. Формулою этою подтверждается также, что количество теплоты отнимаемое воздухомъ, не зависитъ отъ свойства лучеиспускающей поверхности

Охлаждающая способность газа, находящагося въ движеніи. Когда газъ, окружающій охлаждающееся тѣло, находится въ движеніи, то охлажденіе производимое имъ бываетъ быстрѣе. Движеніе производитъ то же дѣйствіе, какъ-будто бы поверхность тѣла была увеличена; такъ-что охлаждающія способности различныхъ газовъ, движущихся съ одинаковою скоростью, сохраняютъ между собою тѣ же отношенія, какъ и въ состояніи покоя По какъ лучеиспусканіе остается всегда одно и то же, то именно отъ количества теплоты, отнимаемой газомъ движущимся съ бо́льшею скоростью, зависитъ почти вся потеря теплоты, испытываемая тѣломъ, и въ этомъ случаѣ поверхность не имѣетъ почти никакого вліянія, ибо постоянное дѣйствіе, причиняемое лучеиспусканіемъ, весьма мало въ сравненіи съ дѣйствіемъ производимымъ газомъ.

29. Общій законъ охлажденія. — Полная скорость охлажденія U

---

*) Это со ласіе было бы еще удовлетворительнѣе, еслибы отношеніе 5,707 (75) не было слишкомъ велико.

тѣла въ газъ, получается, если соединить причиняемую лучеиспусканіемъ скорость, выраженную формулою $V = ma^{\theta}(a^{t} - 1)$, со скоростью производимою газомъ и выражаемую чрезъ $np^{c}t^{b}$. Итакъ получимъ:

$$U = ma^{\theta}(a^{t} - 1) + np^{c}t^{b},$$

гдѣ a всегда бываетъ равна 1,0077; величина c одна и та же для всѣхъ тѣлъ, но измѣняется сообразно съ газами; b постоянна для всѣхъ газовъ и равна 1,233, m и n увеличиваются каждая съ величиною охлаждающейся поверхности, и только m измѣняется со свойствомъ поверхности (69), ибо m зависитъ отъ этой поверхности, тогда-какъ n отъ нея не зависитъ. Дюлонгъ и Пти, и впослѣдствіи многіе другіе ученые, повѣрили посредствомъ многочисленныхъ опытовъ показанную нами общую формулу. Мы видимъ на сколько формула эта сложна, и только, отдѣляя дѣйствія производимыя лучеиспусканіемъ отъ дѣйствій производимыхъ прикосновеніемъ газа, можно было надѣяться найти ее.

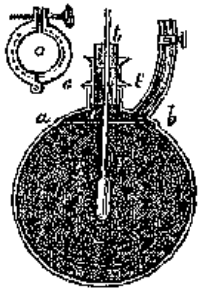
Несмотря на точность и исключительное искусство, съ которыми описанные опыты были произведены названными нами учеными, нѣкоторые изъ изъясненныхъ Дюлонгомъ и Пти результатовъ,—справедливыхъ въ тѣхъ обстоятельствахъ, при которыхъ эти ученые дѣлали свои наблюденія,—должны будутъ однако измѣниться, если опыты будутъ произведены при другихъ условіяхъ. Замѣтимъ, во-первыхъ, что трудно допустить, чтобы форма охлаждающагося тѣла не имѣла вообще никакого вліянія на количество теплоты отнимаемое газомъ у этого тѣла. И дѣйствительно, газъ отнимаетъ теплоту у тѣла главнымъ образомъ посредствомъ теченій, производимыхъ расширеніемъ частей газа прикасающихся къ тѣлу. Понятно, что если тѣло продолговато въ вертикальномъ направленіи, то воздухъ прикасающійся къ тѣлу не отниметъ у него столько теплоты, какъ еслибы оно было расположено горизонтально; ибо поднимаясь, нагрѣтый воздухъ, окружающій тѣло, предохраняетъ его отъ прикосновенія съ холоднымъ воздухомъ. И въ-самомъ-дѣлѣ, термометръ съ продолговатымъ резервуаромъ охлаждается скорѣе, когда онъ находится въ горизонтальномъ положеніи, нежели когда онъ стоитъ вертикально *). Опы-

*) Perlet, Traité élémentaire de physique. t. 1, p. 433.

ты, которые мы теперь разсмотримъ, показываютъ другія обстоятельства, которыя надлежитъ принять въ разсчетъ для точнаго опредѣленія скоростей охлажденія.

80. Опыты Де-ла Провосто (de-la Provostaye) **и Дезена** Desains) *), Де-ла Провостэ и Дезенъ замѣчаютъ во-первыхъ, что формула найденная Дюлонгомъ и Пти не имѣетъ всей желаемой общности, ибо формула эта предполагаетъ испускательную способность ограды абсолютною и что величина ограды не имѣетъ вліянія; наконецъ формула эта была только доказана для случаевъ охлажденія, и нельзя быть увѣреннымъ, примѣнима ли она и къ случаямъ нагрѣванія. Снарядъ употребленный при изслѣдованіяхъ, которыя мы теперь опишемъ состоитъ изъ пустаго мѣднаго шара, вычерненнаго внутри (фиг. 46) и состоящаго изъ двухъ частей; верхняя часть, припаянная помощью олова по линіи *ab*, снабжена трубою съ краномъ, предназначеннымъ для измѣненія давленія. Термометръ укрѣпленъ посредствомъ пробки въ гулкѣ *t e*, тщательно притертой къ горлышку шара, и имѣющей снаружи плоскую окраину плотно прилегающую къ подобной же окраинѣ, которою оканчивается горлышко шара Плоскія поверхности этихъ окраинъ, между которыми въ *fe* находится кожаное кольцо, прижимаются одна къ другой помощью кольца съ винтомъ *o*. Наконецъ пластинка съ прорѣзомъ, придѣланная въ *e*, довершаетъ сферическую поверхность ограды, когда термометръ установленъ на мѣстѣ.

фиг. 46.



Термометръ нагрѣвали въ муфтѣ, для предохраненія поверхности его отъ прикосновенія съ раскаленными углями Верхняя часть трубки, равно какъ и втулка *te*, были защищены отъ дѣйствія жара посредствомъ экрановъ; нагрѣтый термометръ поспѣшно вставили въ шаръ, сжимали кольцо *o* и производили давленіе, при которомъ желали дѣлать наблюденія. Послѣ этого составляли таблицу избыткамъ температуры и временамъ ихъ наблюденій **). Для полученія изъ

*) Annales de chimie et de physique 3 série, t. XVI.

**) Независимо отъ поправокъ, относящихся къ болѣе низкой температурѣ трубки и къ проникаію холодной ртути, надобно замѣтить, что масса ртути, содержащаяся въ резервуарѣ, увеличивается и что теплоёмкость ея уменьшается вмѣстѣ съ увеличеніемъ температуры. Двѣ эти причины неточности дѣйствуютъ въ противоположномъ направленіи и частью уничтожаетъ одна другую.

этихъ таблицъ скорости охлажденія, употребляли извѣстную формулу $T = a\left(\frac{1}{\mu}\right)^t$ (68), посредствомъ которой соединяли извѣстное число избытковъ, принимая, что законъ Ньютона справедливъ въ незначительныхъ предѣлахъ; потомъ вычисляли скорости для избытковъ заключенныхъ между тѣми, которые служили для опредѣленія постоянной μ.

81. Охлажденіе производимое газами. Вліяніе поверхности. Чтобы узнать, зависитъ ли охлаждающая способность газа отъ свойства поверхности охлаждающагося тѣла, сдѣлали опытъ надъ однимъ и тѣмъ же термометромъ, при двухъ весьма различныхъ давленіяхъ; потомъ, вычитая, одну изъ другой, скорости, соотвѣтствующія одному и тому же избытку, замѣчали, были ли полученныя разности для обнаженнаго резервуара тѣ же, что и для посеребреннаго. Опытъ показалъ, что для посеребреннаго термометра разности вообще больше, откуда слѣдуетъ заключить, что охлаждающее дѣйствіе воздуха зависитъ отъ поверхности, ибо охлажденіе посредствомъ лученспусканія остается одно и то же въ обоихъ вычитаемыхъ количествахъ.

Доказавъ это, надлежало повѣрить, не измѣнится ли законъ, выражающій охлаждающую способность газовъ, при употребленіи поверхностей различнаго свойства. Де-ла Провостэ и Дезёнъ производили опыты съ термометрами обнаженными, посеребренными, позолоченными и покрытыми сажею; пытаясь повѣрить формулу $P = np^c t^{1,233}$, т.-е. узнать, дѣйствительно ли охлаждающая способность газа пропорциональна степени 1,233 избытка температуры и степени c давленія, на пр. степени 0,45 относительно воздуха. Чтобы повѣрить первое, измѣряютъ скорости при двухъ различныхъ давленіяхъ и одномъ и томъ же избыткѣ температуры, берутъ разность D этихъ скоростей, и получаютъ $D = nt^b (p^c - p'^c)$, полагая $b = 1,233$. Опытъ повторяютъ при тѣхъ же давленіяхъ, но при другомъ избыткѣ и получаютъ разность $D' = nt'^b (p^c - p'^c)$. Раздѣливъ эти разности одну на другую, получимъ

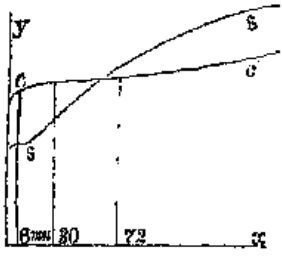
$$\frac{D}{D'} = \left(\frac{t}{t'}\right)^b \text{ и } \log \frac{D}{D'} = b.\ \log \frac{t}{t'}, \text{ откуда } \log \frac{D}{D'} : \log \frac{t}{t'} = b.$$

Слѣдовательно, если законъ вѣренъ, то логариѳмъ отношенія разностей, дѣленный на логариѳмъ отношенія избытковъ, будетъ число постоянное и равное 1,233, что и въ-самомъ-дѣлѣ оправдывается

на опытѣ въ предѣлахъ погрѣшностей наблюденій, какова-бы ни была поверхность термометра.

Чтобы повѣрить неизмѣняемость показателя c, берутъ три скорости при трехъ давленіяхъ p, p', p'' и при одномъ и томъ же избыткѣ температуры. Изъ перваго давленія вычитаютъ, одну за другою, два остальныя, что дастъ разности $nt^b(p^c - p'^c)$, $nt^b(p^c - p''^c)$, раздѣливъ эти разности, получимъ отношеніе $\frac{p^c - p'^c}{p^c - p''^c}$ независимое отъ избытка температуры. Выводъ этотъ оправдывается на опытѣ для воздуха, если взять $c = 0{,}45$, исключая весьма слабыхъ давленій—ниже 6 или 7 миллим.; въ этомъ случаѣ время охлажденія, на одинаковое число градусовъ, одно и тоже для давленій въ 2^{mm}, 8 и въ 6^{mm}. Результатъ этотъ видѣнъ на кривой ss (фиг 47), абсциссы которой выражаютъ давленія, а ординаты скорости охлажденія. Слѣдовательно формула Дюлонга и Пти не примѣняется къ весьма слабымъ давленіямъ. Величина постоянной n получается, если выраженіе $n(p^{0,45} - p'^{0,45})t^{0,233}$ сдѣлать равнымъ разности скоростей измѣренной прямо въ воздухѣ. Тогда получится уравненіе, изъ котораго выводятъ величину n. Взявъ среднія изъ большаго числа выводовъ, сдѣланныхъ такимъ-образомъ, нашли $n = 0{,}0003224$ для посеребреннаго термометра и $n = 0{,}0003118$ для термометра съ стеклянною поверхностью. Различіе между этими двумя числами подтверждаетъ вліяніе, которое имѣетъ состояніе поверхности на охлаждающую способность воздуха.

Фиг. 47.



82. Охлажденіе производимое однимъ только лучеиспусканіемъ. Чтобы получить охлажденіе въ пустомъ пространствѣ, вычитаютъ изъ полной скорости скорость охлажденія производимаго воздухомъ, эта послѣдняя вычисляется посредствомъ подтвержденной опытомъ формулы $P = npc^t t^b$. Де-ла Провостэ и Дезёнъ нашли, что формула $V = ma^\theta(a^t - 1)$ вполнѣ примѣнима къ термометру съ стеклянною поверхностью или покрытому сажею. Но для позолоченнаго или посеребреннаго термометра величина m,— принимаемая пропорціональною испускательной способности, — измѣняется, и почти пропорціонально температурѣ; такъ, что для металлическихъ поверхностей, *лучеиспускательная способность*, повидимому, *увеличивается вмѣстѣ съ температурою*. Во всѣхъ этихъ опытахъ

часть трубки, находившейся въ шарѣ, была также вызолочена или посеребрена; безъ этой предосторожности быстрое охлажденіе трубки, вслѣдствіе относительной гораздо большей испускательной способности стекла надъ металлами, могло бы произвести въ результатахъ значительныя неточности.

53. Вліяніе размѣровъ ограды. Повѣривъ, какъ сказано выше, формулы Дюлонга и Пти, Де-ла Провостэ и Дезенъ произвели множество опытовъ для обнаруженія вліянія величины, формы и свойства поверхности ограды на охлажденіе. Чтобы узнать сперва вліяніе величины и формы ограды, они брали два пустые шара покрытые сажею, діаметръ которыхъ равнялся 24^{cm} и 15^{cm}, и цилиндрическую ограду въ 6^{cm} діаметра и 20^{cm} высоты. Въ маленькомъ шарѣ полное охлажденіе въ воздухѣ совершалось быстрѣе, нежели въ большомъ, какова бы ни была поверхность термометра, и разности были тѣмъ значительнѣе, чѣмъ слабѣе было давленіе. Свыше 20^{mm} разность весьма незначительна. При давленіи въ 6^{mm} позолоченный термометръ, для пониженія на извѣстное число градусовъ, употреблялъ въ большомъ шарѣ 40'10",5 — и 33'56" въ маленькомъ.

Въ цилиндрической оградѣ охлажденіе, начиная отъ давленія въ 750^{mm} до 45^{mm} приблизительно, совершалось медленнѣе, нежели въ большомъ шарѣ.

При давленіяхъ болѣе слабыхъ, результатъ былъ противоположный. Результатъ этотъ легко можно видѣть на фигурѣ 47-й, гдѣ кривая *ss* соотвѣтствуетъ сферической оградѣ, а кривая *cc* цилиндрической. На этой послѣдней кривой видно, что скорость почти постоянна, начиная отъ давленія въ 15^{mm} до 70^{mm} приблизительно, тогда-какъ для сферической ограды, въ тѣхъ же предѣлахъ давленія, скорость эта чрезвычайно сильно измѣняется. Для повѣрки этого результата наблюдали скорость охлажденія въ цилиндрѣ при давленіи въ 70^{mm}, потомъ уменьшили давленіе до 15^{mm} и замѣтили, что законъ охлажденія нисколько не измѣнялось.

Изъ предъидущаго выходитъ, что съ уменьшеніемъ размѣровъ и вида ограды, законъ охлажденія производимаго воздухомъ усложняется, въ-особенности для слабыхъ давленій, если принять, что дѣйствіе производимое лучеиспусканіемъ не зависитъ отъ величины ограды, что весьма вѣроятно, судя по опытамъ сдѣланнымъ по этому предмету. Впрочемъ, скорость охлажденія причиняемаго воздухомъ

можетъ, повидимому, всегда быть выражена формулою At^c, но только показатель c измѣняется вмѣстѣ съ давленіемъ

Болѣе быстрое охлажденіе въ маленькомъ шарѣ можетъ быть объяснено тѣмъ, что въ этомъ шарѣ газъ, находясь въ движеніи, долженъ проходить меньшее пространство для достиженія стѣнокъ ограды и для сообщенія имъ теплоты отнятой у термометра, а равно и для того, чтобы опять къ нему возвратиться и заимствовать у него вновь нѣкоторое количество теплоты Что же касается охлаждающей способности въ цилиндрической оградѣ, то способность эта не можетъ быть болѣе выражена формулою $np^{0,45}t^{1,233}$, даже и въ случаѣ еслибы мы измѣняли показателя.

Мы видѣли (81), что охлаждающая способность воздуха становится независимою отъ давленія ниже 6 до 7^{mm} въ шарѣ, діаметръ котораго равенъ 24^{cm}. Граница эта, какъ кажется, бываетъ тѣмъ выше, чѣмъ меньше размѣръ шара Подобное же явленіе было найдено и въ другихъ газахъ *. Опыты произведенные съ посеребреннымъ термометромъ въ цилиндрической оградѣ, покрытой сажею, показали, что въ водородномъ газѣ время охлажденія увеличивается едва на $\frac{1}{12}$ когда давленіе отъ 760^{mm} переходитъ къ 60^{mm}, и нѣсколько менѣе чѣмъ на $\frac{1}{12}$, когда отъ 60^{mm} давленіе переходитъ къ 20^{mm}. Такимъ образомъ при переходѣ отъ давленія въ 760^{mm} къ давленію въ 20^{mm}, т.-е. къ давленію въ 38 разъ меньшему, скорость охлажденія уменьшается только въ пропорціи 6 къ 7. Отношеніе это для воздуха было бы какъ 3 къ 1 въ той же оградѣ и при тѣхъ же давленіяхъ Въ водородѣ скорость охлажденія становится при 4^{mm} вдвое меньше, чѣмъ при 20^{mm} давленія, и вліяніе этого газа на охлажденіе, несмотря на столь слабое давленіе, все еще огромное; ибо полная скорость охлажденія въ этомъ случаѣ больше скорости наблюдаемой въ воздухѣ при давленіи въ 760^{mm}, и относится къ ней почти какъ 4 къ 3. Въ углекисломъ газѣ скорость охлажденія уменьшается до давленія въ 35^{mm}, потомъ она становится постоянною до 12^{mm}, и при давленіи въ 4^{mm} она *больше* чѣмъ при давленіи въ 35^{mm}. Неожиданный этотъ результатъ, повѣренный съ большою точностью, повторяется въ закиси азота, котораго плотность и удѣльная теплота почти тѣ же какъ и углекислоты; почему и охлаждающія способности этихъ двухъ газовъ почти равны.

---

*) Annales de chimie et de physique, série, t. XXII.

Для объясненія этихъ результатовъ можно замѣтить, что охлаждающая способность газа зависитъ отъ его плотности и его подвижности, — свойствъ измѣняющихся въ обратномъ содержаніи при уменьшеніи давленія, и понятно, что дѣйствія, происходящія вслѣдствіе этого, могутъ иногда взаимно уравновѣшиваться, иногда же превышать другъ друга въ ту или другую сторону. Предположеніе это подтверждается слѣдующимъ обстоятельствомъ. если къ водородному газу, при давленіи 30^{mm}, прибавить равное по объему количество воздуха, такъ, чтобы давленіе было около 60^{mm}, то охлаждающая способность смѣси будетъ менѣе той же способности одного лишь водороднаго газа Такимъ-образомъ прибавленное количество воздуха уменьшаетъ охлаждающую способность водорода, вмѣсто-того чтобы увеличивать ее соотвѣтственно охлаждающей способности воздуха. Это объясняется тѣмъ, что присутствіе воздуха до того уменьшаетъ подвижность газа, что дѣйствіе производимое измѣненіемъ плотности все-таки не вознаграждаетъ вліянія уменьшившейся подвижности.

Изъ предъидущаго выходитъ, что кривая *ss* (фиг. 47), изображающая полныя скорости охлажденія въ воздухѣ, дастъ также одинъ или нѣсколько изгибовъ для скоростей въ другихъ газахъ, когда давленія будутъ незначительны Сверхъ-того мы видимъ, что было бы несправедливо считать ничтожнымъ дѣйствіе газа при весьма слабомъ давленіи, ибо при давленіи въ 4^{mm} охлаждающая способность водорода превышаетъ ту же способность воздуха при давленіи въ 76^{mm}.

Такимъ-образомъ, слѣдовательно, нельзя получить вѣрнаго результата, если взять разность между скоростью охлажденія, полученною изъ наблюденій, и скоростью производимою газомъ остающимся въ оградѣ изъ которой вытягиваютъ воздухъ, если послѣднюю вычесть по формулѣ Дюлонга и Пти, потому-что формула эта непримѣнима къ весьма слабымъ давленіямъ и что не всегда можно пренебрегать вліяніемъ весьма разрѣженнаго газа. Этимъ также объясняется недостаточность методы относительно измѣренія испускательныхъ способностей посредствомъ охлажденія, равно какъ и неточность найденнаго Дюлонгомъ и Пти отношенія между испускательною способностью золота и серебра (75). Кромѣ-того въ общей формулѣ Дюлонга и Пти (79) можно нѣсколько измѣнить постоянныя m и n, почти нисколько не измѣнивъ чрезъ это скорости, вычисленныя помощью этой формулы. Итакъ испускательная способность,

принимаемая пропорціональною величинѣ m, не можетъ быть получена съ точностью посредствомъ методы охлажденія.

84. Вліяніе внутренней поверхности ограды. Для изслѣдованія этого вліянія, надлежало имѣть возможность измѣнять внутреннюю поверхность шара. По этой причинѣ шаръ былъ составленъ изъ двухъ частей, спаянныхъ оловомъ по линіи ab (фиг. 46). Опыты были преимущественно произведены надъ внутреннею поверхностью, покрытою сажею или же посеребренною *). Охлаждающая способность газа повидимому не зависитъ отъ состоянія поверхности ограды. При стеклянномъ термометрѣ, законъ охлажденія, производимаго лучеиспусканіемъ, остается тотъ же самый, когда ограда посеребрена; только потери чрезъ лучеиспусканіе уменьшаются почти на половину. Уменьшеніе это можно было легко предвидѣть, потому-что посеребренная поверхность возвращаетъ термометру, посредствомъ отраженія, тѣмъ большую часть пріобрѣтенной отъ него теплоты, чѣмъ выше напряженіе температуры Напротивъ, при термометрѣ покрытомъ металлическимъ листомъ находятъ, что охлажденіе не зависитъ отъ испускательной способности ограды, что объясняется слабою поглощательною способностью серебра, дѣлающею незамѣтнымъ дѣйствіе производимое болѣе высокою температурою отраженныхъ лучей. Малѣйшее же измѣненіе испускательной способности ограды имѣетъ, напротивъ, значительное вліяніе на охлажденіе стеклянной поверхности. Обстоятельство это также показываетъ недостаточность методы охлажденія, примѣненной къ сравненію испускательныхъ способностей. Другое обстоятельство, достойное замѣчанія, состоитъ въ томъ, что термометръ, сперва посеребренный, а потомъ покрытый сажею, охлаждается въ пустомъ пространствѣ медленнѣе, нежели термометръ, у котораго сажа наседена прямо на стекло. Фактъ этотъ былъ повѣренъ непосредственно опытомъ, помощью стекляннаго шара, наполненнаго горячею ртутью и расположеннаго предъ термоэлектрическою цѣпью. Шаръ этотъ былъ покрытъ сажею, и на одной изъ половинъ, сажа была отдѣлена отъ стекла посредствомъ листа изъ серебра. Обращая то-ту, то другую половину къ термоэлектрической цѣпи, находили, что стрѣлка мультипликатора обыкновенно перемѣщалась болѣе, чѣмъ на $\frac{1}{2}$ градуса, иногда даже на цѣлый градусъ. Фактъ этотъ порождаетъ новыя затрудненія въ опредѣленіи

*) Annales de chimie et de physique, 3-e série, t. XVI.

испускательныхъ способностей. Но какъ бы то ни было, вотъ нѣкоторые изъ результатовъ, найденныхъ Де-ла Провостэ и Дезёномъ, по методѣ охлажденія, для отношеній испускательныхъ способностей сажи, стекла и серебра.

		Отношеніе величинъ к.	
Термометръ съ цилиндрич. резервуаромъ.	стеклянпымъ покрытымъ сажею	При всякой температурѣ. 90,9	
Термометръ съ цилиндрич. резервуаромъ	посеребреннымъ стеклянпымъ	при 150° 13,2	при 63 17,1
Термометръ съ сферическимъ резервуар. .	посеребреннымъ стеклянпымъ	при 105° 17,0	при 48° 19,9

Мы видимъ, что для посеребрениаго термометра испускательная способность, какъ мы это ужь сказали, увеличивается съ уменьшеніемъ температуры (82)

85. Законы нагрѣванія.—Законы, найденные Дюлонгомъ и Пти, разсматривали, по аналогіи, какъ примѣнимые также къ нагрѣванію тѣлъ; но опытовъ по этому предмету дѣлаемо не было. Законъ Ньютона, правда, былъ найденъ точнымъ въ опытѣ, сдѣланномъ Румфортомъ надъ нагрѣваніемъ сосуда изъ латуни въ комнатѣ, температура которой на 10° приблизительно превышала температуру сосуда. Де-ла Провостэ и Дезенъ дополнили огромный трудъ свой надъ изслѣдованіемъ законовъ охлажденія, сдѣлавъ непосредственныя наблюденія надъ нагрѣваніемъ термометра въ устроенномъ ими вышепоименованномъ шарѣ въ 15^{cm} діаметра, внутри покрытомъ сажею, въ которомъ постоянная температура поддерживалась посредствомъ паровъ кипящей воды. Чтобы отвратить плавленіе жирныхъ тѣлъ, окружающихъ термометръ, въ томъ мѣстѣ гдѣ онъ былъ опущенъ въ шаръ,—шаръ былъ снабженъ длиннымъ горлышкомъ, верхняя часть котораго была окружена холодною водою. Но какъ термометръ нагрѣвается во время вытягиванія воздуха изъ шара, равно и при устанавливаніи снаряда, то наблюденія могли только быть сдѣланы при разности въ 40°.

Такимъ-образомъ было найдено, что нагрѣваніе производимое воздухомъ повинуется тѣмъ же законамъ, какъ и охлажденіе, и выражается тою же формулою, исключая, какъ и для сего послѣдняго (81), случаи слабаго давленія. Нагрѣваніе въ пустомъ пространствѣ слѣдуетъ тѣмъ же законамъ какъ и охлажденіе и выражается форму-

лою $V = ma^{\theta}\ a^{t} - 1)$, одинаковою съ формулою для охлажденія, измѣнивъ только знакъ величины t. Оба эти явленія могутъ, слѣдовательно, быть выражены формулою:

$$V = ma^{T} - ma^{T'},$$

въ которой для охлажденія T означаетъ температуру термометра и T' температуру ограды и обратно—для случаевъ нагрѣванія T' температуру термометра, а T температуру ограды.

Надобно замѣтить, что величина m не одна и та же въ обоихъ этихъ случаяхъ. Многочисленные опыты доказали, что величина эта меньше при нагрѣваніи, и что въ пустомъ пространствѣ тѣло медленнѣе нагрѣвается, чѣмъ охлаждается, при равныхъ температурахъ ниже или выше температуры ограды.

Отношеніе обѣихъ скоростей было найдено разнымъ:

1,039, 1,0797, 2,153.

Когда величины t были:

5°, 10°, 500°.

Присутствіе воздуха только измѣняетъ разности и даже можетъ ихъ дѣлать болѣе ощутительными.

86. Температура термометра въ оградѣ не имѣющей однообразной температуры. — Положимъ, слѣдуетъ вычислить температуру, которую окончательно приметъ термометръ, расположенный въ оградѣ, части которой имѣютъ различныя температуры. Пусть T искомая температура, θ, θ', θ''..... температуры различныхъ частей ограды, соотвѣтствующихъ *ёмкостямъ конуса* (65) равнымъ $\alpha, \beta, \gamma, \ldots$; эти количества составляютъ части сферической поверхности, которой радіусъ — единица. Предположимъ сперва, что ограда пустая и не имѣетъ отражательной способности. Абсолютное количество теплоты, лучепускаемое термометромъ, будетъ ma^{T} (75). Количество теплоты, получаемое термометромъ отъ различныхъ частей ограды, будетъ $m\alpha a^{\theta} + m\beta a^{\theta'} + \ldots\ldots$ Слѣдовательно для того, чтобы термометръ сдѣлался постояннымъ, необходимо чтобы

$$ma = m\alpha a^{\theta} + m\beta a^{\theta'} + \ldots\ldots \text{ или } a^{T} = \alpha a^{\theta} + \beta a^{\theta'} + \ldots$$

изъ этого уравненія выводятъ величину T.

Если термометръ обладаетъ отражательною способностью, то m будетъ меньше и ее должно будетъ замѣнить чрезъ $\frac{m}{r}$. Но какъ поглощательная способность равняется способности испускательной, то термометръ поглощаетъ только дробь $\frac{1}{r}$ теплоты издаваемой оградою, и уравненіе останется тоже самое. Результатъ слѣдовательно не зависитъ отъ испускательной способности термометра

Когда въ оградѣ находится воздухъ, то отнимаемое имъ количество P теплоты надо прибавить къ количеству лучеиспускаемому термометромъ и уравненіе будетъ

$$\frac{m}{r} a^{T} + P = \frac{m}{r}(\alpha a^{\theta} + \beta a^{\theta'} + \ldots);$$

а какъ P не измѣняется съ свойствомъ поверхности термометра, измѣняется же только испускательная способность, то очевидно, что величина T будетъ зависѣть отъ этой послѣдней. Вотъ почему два термометра одинаковыхъ размѣровъ, одинъ покрытый сажею, а другой посеребренный, расположенные предъ однимъ и тѣмъ же источникомъ теплоты, принимаютъ различныя постоянныя температуры. То же будетъ, если разсматривать P какъ постоянную; послѣднее бываетъ въ предѣлахъ Ньютонова закона.

Въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ можно примѣнить законъ Ньютона, результатъ этотъ можетъ быть доказанъ непосредственно: пусть S будетъ количество теплоты, испускаемое источникомъ къ обоимъ термометрамъ, поставленнымъ на одинаковыхъ отъ него разстояніяхъ,— a и n поглощательныя способности поверхности термометровъ, равныя испускательнымъ, и t и t' избытки ихъ температуръ надъ температурою внѣшняго воздуха, по достиженіи термометрами постоянныхъ температуръ. Количества теплоты, полученныя снарядами втеченіи одного и того же промежутка времени, будутъ Sa и Sn, и количества теплоты потерянныя будутъ по закону Ньютона, $kat + ct$, $knt' + ct'$, гдѣ k есть коэффиціентъ, зависящій отъ величины поверхности термометровъ и ихъ массы, а ct и ct', количества теплоты, отнятыя воздухомъ и пропорціональныя избыткамъ t и t' Но какъ, при равновѣсіи, количество полученной теплоты должно равняться количеству потерянной, то получимъ:

$$Sa = kta + ct, \qquad Sn = kt'n + ct'$$

$$\text{откуда } \frac{a}{n} = \frac{t(ka + c)}{t'(kn + c)} \text{ и } \frac{t}{t'} = \frac{kan + ca}{kan + cn}.$$

Мы видимъ, что t' будетъ болѣе t, если n будетъ болѣе a. Въ пустотѣ $c = a$ и $t = t'$.

87. Примѣчаніе. При всѣхъ изслѣдованіяхъ, сдѣланныхъ надъ охлажденіемъ, за охлаждающееся тѣло былъ взятъ ртутный термометръ. Очевидно, что результаты эти измѣнились бы, еслибъ опыты были произведены надъ твердыми тѣлами по причинѣ большаго или меньшаго времени, которое бы употребила теплота для перехода изнутри тѣла къ поверхности; слѣдовательно, не всѣ части тѣла имѣли бы въ одно и то же время одинаковую температуру.

§ 5. Передача лучеиспускаемой теплоты сквозь тѣла. Преломленіе теплоты.

I. Способность теплопрозрачности.

88. Есть такія вещества, сквозь которыя лучистый теплородъ можетъ проходить, не задерживаясь для ихъ нагрѣванія. Такъ напримѣръ лучеиспускаемая теплота проходитъ сквозь воздухъ, отдѣляющій насъ отъ источника теплоты. Теплородные лучи, достигающіе къ намъ отъ солнца, могутъ также проходить сквозь стекло, не уменьшаясь значительно въ своемъ напряженіи. Фактъ этотъ былъ издавна извѣстенъ, но долго предполагали, что *темная теплота* и даже теплота свѣтящаяся, издаваемая слабо раскаленнымъ тѣломъ, можетъ быть задержана стеклянною пластинкою. И дѣйствительно, Маріотъ нашелъ, что подобная пластинка задерживаетъ теплоту, испускаемую огнемъ печи и падающую на сферическое зеркало, такъ что термометръ расположенный въ фокусѣ не нагрѣвается. Такимъ-образомъ объясняется обычай, введенный съ незапамятныхъ временъ на литейныхъ заводахъ, иначе смотрѣть на плавящееся вещество, какъ сквозь стеклянную пластинку, для того чтобы защищаться отъ большей части теплородныхъ лучей. Шеле, повторивъ опытъ Маріота, заключилъ, что теплота источника не проходитъ сквозь стекло. Однакожъ Пиктѐ (Pictet) открылъ довольно замѣтное дѣйствіе въ фокусѣ одного изъ сопряженныхъ зеркалъ 38), когда въ фокусѣ другаго, отдѣленный отъ перваго посредствомъ оконнаго стекла, былъ поставленъ сосудъ наполненный кипяткомъ. Гершель (Herschel) доказалъ прохожденіе лучистой теплоты сквозь нѣкоторыя тѣла, стаи

просто весьма близко къ источнику теплоты термометръ, но отдѣливъ его отъ источника посредстномъ пластинки изъ испытываемаго вещества.

Невзирая на эти опыты, вопросъ оставался долго нерѣшеннымъ. Увѣряли, что дѣйствіе произведенное на термометръ происходило отъ теплоты поглощенной промежъ поставленною пластинкою, которая нагрѣвшись лучеиспускала теплоту къ снаряду Но Превó (Prevost) *) повторилъ опытъ съ пластинкою изъ льда, въ срединѣ, температура которой была—3°, и нашелъ, что теплота прошла сквозь этотъ ледяной экранъ, заставляя подняться термоскопъ поставленный на противоположной сторонѣ Расположивъ передъ сосудомъ съ кипяткомъ экранъ съ отверстіемъ и закрывая это отверстіе стеклянною пластинкою такимъ-образомъ, чтобы часть пластинки получавшая лучи источника постоянно смѣнялась другою, Превó нашелъ, что дѣйствіе оставалось то же самое, какъ и при пластинкѣ находившейся въ покоѣ. Наконецъ Превó нашелъ, что лучистая теплота передалась сквозь слой воды, толщиною въ $0^{mm},5$, во время теченія его сверху внизъ, причемъ нагрѣваніе, очевидно, не могло имѣть мѣста. Термоскопъ, котораго шарикъ былъ вычерненъ, показывалъ около $^1/_2$ градуса, когда источникомъ теплоты былъ кусокъ раскаленнаго, но не свѣтящагося, желѣза. Деларошъ (Delaroche) **, подтвердилъ эти результаты посредствомъ способа указаннаго Мекокомъ (Maycock): сторона стеклянной пластинки, обращенная къ источнику, покрывалась сажею, отчего стекло сильнѣе нагрѣвалось; тѣмъ не менѣе однакожь термометръ, поставленный съ противоположной стороны, не поднимался, потому-что сажа не пропускаетъ лучистой теплоты. Меллони повторилъ съ термомультипликаторомъ бóльшую часть этихъ опытовъ, и къ доказательствамъ о существованіи пропусканія лучистой теплоты, присоединилъ еще послѣдній доводъ. Онъ нашелъ, что стрѣлка мультипликатора по удаленіи экрана заслоняющаго цѣпь, тотчасъ приходитъ въ движеніе, и достигаетъ положенія равновѣсія въ весьма короткое время, всегда одинаковое, каковы бы ни были напряженіе источника и толщина пластинки, сквозь которую проходятъ лучи. Время это не измѣняется и тогда, когда устраняютъ пластинку; сверхъ-того, если, до паденія на пластинку, лучи пройдутъ сквозь пѣ-

---

*) Journal de Physique, T. LXXII.

**) Journal de Physique, T LXXV.

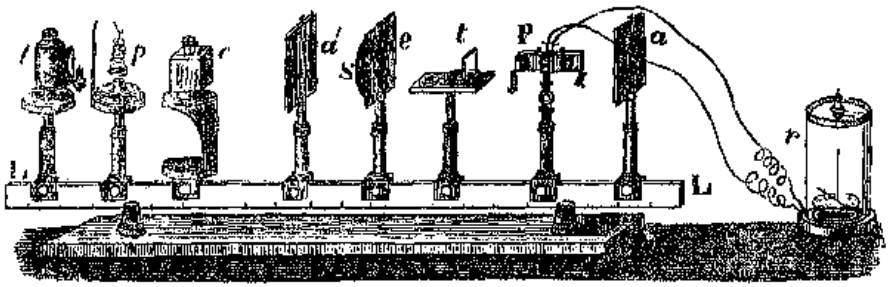
сколько отверстій въ прямомъ направленіи, и основаніе цѣпи будетъ поставлено внѣ продолженнаго падающаго пучка лучей, то цѣпь не показываетъ возвышенія температуры, какъ бы ни направляли ось цѣпи, тогда какъ въ случаѣ лучеиспусканія самой пластинки она бы должна была издавать къ цѣпи болѣе или менѣе теплоты.

Такимъ-образомъ нынѣ вполнѣ доказано, что лучи теплоты проходятъ сквозь нѣкоторыя тѣла. Меллони называлъ *теплопрозрачными* (diathermanes и впослѣдствіи diathermiques) вещества, сквозь которыя можетъ такимъ-образомъ проходить лучистый теплородъ.

89. Результаты найденные Деларошемъ (Delaroche). Деларошъ доказалъ, въ изданной въ 1811 г. запискѣ *), *что теплота, прошедшая сквозь стеклянную пластинку, испытываетъ меньше потери при прохожденіи сквозь вторую пластинку*; опыты онъ производилъ посредствомъ сопряженныхъ зеркалъ. Онъ также нашелъ, что свойство источника теплоты и, въ-особенности, его температура, имѣютъ большое вліяніе на пропускаемое количество теплоты; изъ этого онъ заключилъ, что *существуютъ различнаго рода теплородные лучи.* Замѣчательное это открытіе было подтверждено многочисленными опытами Меллони, который значительно расширилъ кругъ опытъ, дополнивъ ихъ множествомъ новыхъ фактовъ, которыхъ послѣдствія онъ развилъ въ нѣсколькихъ весьма важныхъ запискахъ. Изъ записокъ этихъ мы извлекли нижеслѣдующее

90. Опыты Меллони. — Опыты эти были произведены посредствомъ термомультипликатора. Чтобы повторить ихъ, употребляютъ снарядъ называемый *столикомъ Меллони* (banc de Melloni) (фиг. 48)

Фиг. 48.



Различныя части снаряда расположены на линейкѣ *LL*, на которой ихъ можно передвигать по желанію, и прикрѣплены къ ней посред-

*) Journal de Physique, Tome LXXX.

ствомъ нажимательныхъ винтовъ. *P* изображаетъ термоэлектрическую цѣпь, а *r* мультипликаторъ, *a* и *a'* экраны, составленные изъ двухъ или трехъ листовъ желтой мѣди, которые могутъ вращаться въ собственной своей плоскости и могутъ быть опускаемы внизъ, въ случаѣ когда желаютъ открыть цѣпь. *l*, *p*, *c* суть различные, попеременно употребляемые, источники теплоты, *l* лампа Локателли, *c* кубъ наполненный горячею водою, температура которой поддерживается посредствомъ помѣщенной подъ кубомъ спиртовой лампы, *p* спираль изъ платины, накаливаемая тоже спиртовою лампою Экранъ *e* имѣетъ отверзтіе, величину котораго можно измѣнять, для этого къ экрану придѣланъ щитъ *S*, на поверхности котораго находятся различной величины круговыя отверзтія, попеременно наводимыя на центръ отверзтія экрана, смотря по величинѣ пучка лучей падающихъ на цѣпь. Наконецъ подставка *t* служитъ для помѣщенія на нем тѣлъ, сквозь которыя хотятъ пропускать лучистый теплородъ.

Чтобы вычислить количество теплоты переданное сквозь тѣло, поставленное у отверзтія экрана *e*, располагаютъ источникъ теплоты на такомъ разстояніи, чтобы лучи источника, падающіе прямо на основаніе цѣпи, отклоняли стрѣлку мультипликатора на 30°. Послѣ того между источникомъ и цѣпью ставятъ экранъ *a'*, а испытываемую пластинку помѣщаютъ передъ отверзтіемъ экрана *e*. Когда цѣпь совершенно охладится, т.-е стрѣлка мультипликатора опять будетъ находиться на нулѣ, опускаютъ экранъ *a'*, тогда стрѣлка начинаетъ постепенно подвигаться, достигаетъ вскорѣ предѣла наибольшей дуги отклоненія, названной Меллони *дугою удара* (arc d'impulsion), потомъ возвращается назадъ и останавливается наконецъ, послѣ извѣстнаго числа колебаній Для сокращенія времени колебаній, Меллони подъ стрѣлкою располагаетъ мѣдный кругъ, на которомъ назначены дѣленія. Присутствіе этой мѣдной пластинки имѣетъ свойство ослаблять колебанія, какъ это показывается въ сочиненіяхъ объ электромагнитныхъ явленіяхъ

Меллони нашелъ изъ опыта, что между отклоненіемъ стрѣлки, въ положеніи равновѣсія, и соотвѣтствующею ему дугою удара, всегда находится постоянное отношеніе, отношеніе это однакожъ измѣняется для различныхъ положеній равновѣсія Такимъ-образомъ можно для снаряда, съ которымъ дѣйствуютъ, составить изъ опытовъ таблицы, заключающія отклоненія соотвѣтствующія каждому наибольшему размаху, такъ что достаточно наблюдать однѣ дуги удара, что значительно сокращаетъ время опытовъ. Отъ установившихся отклоне-

ній стрѣлки переходятъ потомъ, посредствомъ составленныхъ для этой цѣли таблицъ, къ увеличеніямъ температуры испытаннымъ основаніемъ цѣпи, и изъ сравненія этихъ температуръ заключаютъ о количествѣ теплоты, прошедшей сквозь теплопрозрачную пластинку. Количество теплоты, непосредственно получаемой цѣпью, обозначаютъ обыкновенно чрезъ 100 и къ этому числу относятъ посредствомъ пропорціи пропущенное количество. Напр., если температура сообщенная непосредственно основанію цѣпи 35°, а только 14° при посредствѣ пластинки, поставленной между источникомъ и цѣпью, то пишутъ 35 : 14 = 100 : x, откуда x = 86, 66. Результатъ этотъ часто выражаютъ, говоря, что отъ 100 лучей теплоты пластинка пропустила 86,66 и задержала 13, 34.

91. Составленіе таблицъ для показанія значенія градусовъ мультипликатора (tables de graduation). Здѣсь мѣсто указать, какимъ-образомъ составляются таблицы, дозволяющія отъ наблюдаемыхъ уклоненій стрѣлки мультипликатора переходить къ возвышеніямъ температуры, испытаннымъ основаніемъ цѣпи. Для построенія такихъ таблицъ, Меллони употребилъ два различные способа *), основанные оба на пропорціональности между теплородными дѣйствіями и отклоненіями стрѣлки, когда они обнимаютъ только малое число градусовъ, наприм. не болѣе 20° **). Первый способъ состоитъ въ томъ, что оба основанія цѣпи подвергаютъ дѣйствію двухъ постоянныхъ источниковъ, расположенныхъ по обѣ стороны цѣпи на такомъ разстояніи, чтобы стрѣлка мультипликатора показывала нуль. Тогда удаляютъ нѣсколько одинъ изъ источниковъ, такъ, чтобы получить отклоненіе въ 5 или 6 градусовъ, довольно незначительное для того, чтобы отклоненіе стрѣлки между этими предѣлами оставалось пропорціонально разности теплородныхъ дѣйствій на оба основанія цѣпи. Потомъ преграждаютъ, посредствомъ экрана, лучи одного изъ источниковъ и наблюдаютъ дѣйствіе произведенное однимъ только другимъ источникомъ. Точно такимъ же образомъ отъискиваютъ отклоненіе въ противоположную сторону, произведенное вторымъ источникомъ, когда первый закрытъ, и раз-

---

*) *Memoires de l' Academie des sciences de l'Institut*, 1834, Rapport de M. Biot, sur les expériences du Melloni, pag. 443, *et Annales de chimie et de physique.*

**) Предѣлъ этотъ зависитъ отъ наматыванія проволоки мультипликатора на рамку снаряда; онъ слѣдовательно измѣняется съ нарядомъ.

ность этихъ двухъ отклоненій должна равняться отклоненію, произведенному совокупнымъ дѣйствіемъ обоихъ источниковъ, что и дѣйствительно имѣетъ мѣсто, когда наибольшее отклоненіе не превышаетъ 20°. Напр., если первый изъ источниковъ, дѣйствуя отдѣльно, производитъ отклоненіе въ 15°, а другой отклоненіе въ противоположную сторону въ 5°, то разность будетъ 10°, и совокупное дѣйствіе обоихъ источниковъ дастъ уклоненіе равное этой разности. Результатъ будетъ другой, если уклоненія превышаютъ 20°. Напримѣръ при отклоненіяхъ стрѣлки въ 42° и 44°, которыхъ разность составляетъ 2°, отклоненіе произведенное совокупнымъ дѣйствіемъ источниковъ будетъ 8° Слѣдовательно, теплородная разность, необходимая для передвиженія стрѣлки на 2°, вблизи отъ 42°, должна быть вчетверо болѣе той, которая бы потребовалась для 2° вблизи нуля. Поэтому около 42-го градуса, должно множить на четыре число наблюдаемыхъ градусовъ, для того чтобы ихъ можно было сравнивать съ градусами незначительныхъ отклоненій Меллони такимъ-образомъ сдѣлалъ наблюденія надъ движеніями стрѣлки черезъ каждые четыре градуса, начиная отъ 2° и довелъ свои опыты до 44°. Посредствомъ этого способа онъ нашелъ, что дуги между 20° и 24°, 24° и 28°. ..., соотвѣтствуютъ 5°,12 и 6°,44... взятымъ отъ нуля. Величины промежуточныя, отъ 20° къ 21, отъ 21 къ 22, и т. д. были выведены изъ графическаго построенія или чрезъ интерполяцію. Имѣя такіе результаты, легко составить таблицы чрезъ каждый градусъ, показывающія наприм., что отклоненіе 28 соотвѣтствуетъ 31°,6, отклоненіе 36° — 49°,5 и т. д, гдѣ послѣдніе градусы взяты вблизи нуля. Таблицы показываютъ только цѣлыя числа градусовъ; для дробныхъ же чиселъ берутъ простую пропорцію, что предполагаетъ совпаденіе кривой съ ея касательною въ промежуткѣ двухъ ординатъ соотвѣтствующихъ двумъ смежнымъ градусамъ.

По другому способу дѣйствуютъ на цѣпь сперва только однимъ источникомъ, производящимъ наприм. небольшое уклоненіе въ 10° Потомъ между источникомъ и цѣпью ставятъ стеклянную пластинку, отклоненіе уменьшится, положимъ на 5°, откуда заключаютъ, что стеклянная пластинка преграждаетъ половину лучей После этого приближаютъ источникъ на столько, чтобы произвести большое уклоненіе, напр въ 30°; вновь ставятъ пластинку, и отклоненіе вмѣсто 15°, будетъ напр. 17°,6, число ниже предѣла 20°. Изъ этого выводятъ, что эти 30° соотвѣтствуютъ $2 \times 17,6 = 35°,2$. Полученные та-

кимъ-образомъ результаты всегда были согласны съ результатами, данными первымъ способомъ.

Для составленія подобныхъ градусныхъ таблицъ изъ опытовъ, надлежитъ употреблять особенную тщательность, и онѣ только могутъ служить для снаряда, для котораго онѣ были составлены. Опытъ показалъ, что означенные въ нихъ результаты остаются тѣ же, каковъ бы ни былъ источникъ теплорода; и можно убѣдиться, что отклоненія, отнесенныя къ таковымъ предѣламъ вблизи пуля, пропорціональны количествамъ теплоты, полученной при дѣйствіи одного и того же источника на различныхъ разстояніяхъ. Найдено, что измѣненныя такимъ-образомъ уклоненія обратно пропорціональны квадратамъ разстоянія (61).

92. Вліяніе полировки на способность теплопрозрачности.— Показавъ вышеизложенныя предварительныя начала, перейдемъ къ первымъ результатамъ, полученнымъ Меллони *). Меллони во-первыхъ доказалъ, что количество теплоты, проходящее сквозь теплопрозрачную пластинку, тѣмъ больше, чѣмъ лучше отполированы стороны пластинки. Взявъ восемь отломковъ одного и того же зеркальнаго стекла въ $8^{mm},371$ толщины, у которыхъ сторона, обращенная къ цѣпи, была отполирована или отшлифована пескомъ, наждакомъ или какимъ-либо другимъ твердымъ порошкомъ, Меллони нашелъ, что отклоненіе мультипликатора, которое было 30° для непосредственныхъ лучей источника, было 19°,15 для пластинки, лучше другихъ отполированной, и 5°,38 для пластинки, сторона которой была совершенно шероховатая; слѣдовательно, количество пропущенныхъ теплородныхъ лучей уменьшается, такъ же какъ это бываетъ при лучахъ свѣта, соразмѣрно уменьшенію полировки стекла.

93. Уменьшеніе потерь вмѣстѣ съ толщиною.—Послѣ этого Меллони подтвердилъ открытіе сдѣланное Деларошемъ 89), что лучи прошедшіе сквозь пластинку испытываютъ, относительно, меньше потери при прохожденіи чрезъ вторую пластинку изъ того же вещества. Чтобъ доказать это, Меллони взялъ четыре куска одного и того же зеркальнаго стекла, давъ имъ различныя толщины, относившіяся между собою, какъ 1, 2, 3, 4. Результаты, полученные имъ при источникѣ состоявшемъ изъ Аргантовой лампы, производившей непосредственное уклоненіе въ 30°, были слѣдующіе:

---

*) Annales de chimie et de physique, 2 série, t. LIII.

Толщина пластинокъ.	Уклоненія.	Пропущенные лучи на 100.	Остановленные лучи на 100
mm			
2,068	21°,625	61,9	38,1
4,136	0°,312	67,6	42,4
6,202	19°,687	55,8	44,2
8,272	19°,375	54,9	45,5

Предположимъ теперь наиболѣе толстую пластинку раздѣленною, мысленно, на четыре слоя равной толщины; количества теплоты, предоставляющіяся для прохожденія чрезъ каждый изъ этихъ слоевъ, будутъ:

100 61,9 57,6 55,8

и количества, остановленныя послѣдовательными слоями

38,1 42,4—38,1=4,3 44,2—42,4=1,8 45,1—44,2=0,9.

Взявъ отношеніе къ количеству, представляющемуся при прохожденіи чрезъ каждый слой, получимъ:

0,381, 0,069, 0,031 0,016,

числа всё болѣе-и-болѣе уменьшающіяся. Законъ этотъ былъ повѣренъ до толщины въ 54mm

Случай для жидкостей. — Жидкости представляютъ тѣ же явленія. Шесть четыреугольныхъ сосудовъ съ двумя параллельными сторонами изъ пластинокъ тонкаго стекла, отстоящими одна отъ другой отъ 6mm,767 до 108mm,279, были наполнены масломъ изъ полевой рѣпы (huile de colza) и подвержены одинъ за другимъ дѣйствію теплородныхъ лучей, проходящихъ чрезъ отверстіе экрана *e*; лампа была расположена такимъ-образомъ, чтобы отклоненіе было 30° при прохожденіи лучей сквозь каждый пустой сосудъ. Опытъ показалъ, что относительное уменьшеніе потерь оправдывается также и для жидкостей.

Если расположить, какъ это сдѣлалъ Деларошъ, одну за другою пластинки изъ одного и того же вещества и одинаковой толщины, то результатъ будетъ тотъ же; только потери убываютъ въ гораздо большей пропорціи, по причинѣ отраженія теплоты отъ обоихъ сто-

роиъ каждой пластинки при входѣ и при выходѣ. Съ стеклянными пластинками въ $2^{mm},068$ толщины, потери отнесенныя къ количеству теплоты, полученному каждою пластинкою, были 0,381, 0,134, 0,087, 0,058.

94. Теплопрозрачная способность различныхъ веществъ.— Превó нашелъ, что вода и стекло не одинаково пропускаютъ лучистый теплородъ. Деларошъ также показалъ, что зеленоватое стекло пропускаетъ бóльшее количество теплоты, чѣмъ стекло безцвѣтное; но какъ при этомъ толщины были различныя, то оставалось нѣкоторое сомнѣніе на счетъ этихъ результатовъ. Меллони неоспоримымъ образомъ доказалъ, посредствомъ большаго числа опытовъ, сдѣланныхъ надъ веществами весьма различнаго свойства, что способность теплопрозрачности значительно измѣняется, сообразно съ веществами. Для жидкостей онъ устраивалъ родъ маленькихъ лоханокъ, дѣлая широкія выемки въ кускѣ зеркальнаго стекла; къ обоимъ сторонамъ этихъ выемокъ прикладывались тонкія пластинки изъ стекла, которыя удерживались въ данномъ имъ положеніи нарочно устроенною для того рамкою. Промежутокъ между пластинками наполнялся испытываемою жидкостью. Вотъ нѣкоторые изъ результатовъ, найденныхъ Меллони.

Безцвѣтныя стекла (толщина $1^{mm},88$).

Непосредственные лучи	100	Оконное стекло	отъ 58 до 50
Флинтъ-глассъ различныхъ качествъ	отъ 67 до 64	Кронъ-глассъ (Crown англійскій	49
Зеркальное стекло	отъ 62 до 59		

Жидкости (толщина $9^{mm},21$).

Сѣрнистый углеродъ	63	Сѣрная кислота, чистая	17
Хлористая сѣра (бурая)	63	Сѣрн кислота нордгаузенская	17
Орѣховое масло желтое	31	Чистый алькооль, азотная кислота	15
Скипидаръ	31	Водный амміакъ	15
Оливковое масло	30	Растворъ кали	13
Нефть (естественная)	28	Уксусная кислота, крѣпкая	12
Эссенція изъ копая, лавендовое масло, гвоздичное масло	26	Вода сахарная, соленая, квасцовая	12
Сѣрный эѳиръ	21	Яичный бѣлокъ	11
		Перегнанная вода	11

Вещества кристаллизованныя (толщина $2^{mm},62$)

Каменная соль (прозрачн.) . . .	92	Зеленый турмалинъ (прозр.)	27
Исландскій шпатъ (прозрачн.)	62	Сѣрнокислая известь (прозр.)	20
Горный хрусталь (прозрачн.) .	62	Втористый кальцій (полупр.)	15
Дымчатый кварцъ	57	Лимонная кислота (прозр.) . .	15
Бразильскій топазъ безцвѣтн.	54	Квасцы (прозр.)	12
Углекислый свинецъ (прозр.	52	Сѣрнокислая мѣдь (темно-синяя, прозр.)	0
Бѣлый агатъ (полупрозр. . .	35		

Въ тѣлахъ некристаллизованныхъ, способность теплопрозрачности вообще пропорціональна способности *лучепреломленія* свѣта этихъ тѣлъ, т.-е. способности отклонять болѣе или менѣе лучи свѣта, проникающіе изъ воздуха въ тѣла. Кристаллизованныя тѣла не подчиняются тому же закону. Между видомъ кристалловъ и способностью теплопрозрачности не найдено никакого отношенія. Такъ напр., пластинки изъ кварца или исландскаго шпата, вырѣзанныя по различнымъ направленіямъ кристалла, пропускаютъ одинаковое количество теплородныхъ лучей *. Расположеніе составныхъ частицъ имѣетъ тѣмъ не менѣе однако большое вліяніе, такъ напр. пластинка обыкновенной морской соли задерживаетъ всѣ лучи Аргантовой лампы, тогда-какъ пластинка каменной соли пропускаетъ количество 0,923. Квасцы и каменная соль пропускаютъ весьма различныя количества 0,12 и 0,923 падающей теплоты; вода же, насыщенная какимъ-либо изъ этихъ веществъ, пропускаетъ одинаковое количество теплоты 0,12.

Прозрачность тѣлъ не находится ни въ какомъ отношеніи съ ихъ теплопрозрачностью. Такъ, между жидкостями, вода менѣе всѣхъ другихъ пропускаетъ лучистый теплородъ, а она прозрачнѣе хлористой сѣры и маслъ, пропускающихъ гораздо бо́льшее количество теплоты. Между твердыми тѣлами, квасцы, лимонная кислота, которыя совершенно прозрачны, пропускаютъ менѣе теплоты, при толщинѣ въ $1^{mm},5$, нежели пластинка дымчатаго кварца толщиною въ 86^{mm} и столь темнаго, что сквозь него нельзя различать буквъ, напечатанныхъ большими литерами и ярко освѣщенныхъ дневнымъ свѣтомъ. Лучи, переданные сквозь квасцы, уклоняютъ стрѣлку мультипликатора на 6°; лучи же, проходящіе сквозь толстый слой кварца, даютъ еще уклоненіе въ 19°. Наконецъ, пластинки черной, совершенно непрозрачной

*) Annales de chimie et de physique, 3-e série, t. XXII p. 393.

слюды, толщиною въ $0^{mm},9$, пропускаютъ еще 0,20 теплородныхъ лучей, издаваемыхъ лампою Локателли, и пластинки чернаго стекла въ 1^{mm} толщины, сквозь которыя нельзя даже различать солнца, пропускаютъ 0,26 лучей Слѣдовательно, способность пропускать теплоту и способность пропускать свѣтъ независимы одна отъ другой. Отсюда проистекаетъ необходимость употреблять особенное выраженіе для обозначенія первой изъ нихъ. Мы сказали, что Меллони назвалъ *теплопрозрачными* (diathermanes ou diathermiques) тѣла, пропускающіе лучи теплорода; онъ называетъ *нетеплопрозрачными* (athermanes ou athermiques) тѣла, которыя, подобно металламъ или дереву, не пропускаютъ теплоты *). Слово это соотвѣтствуетъ выраженію *непрозрачный* для свѣта. Слову *прозрачность* Меллони противопоставляетъ *теплопрозрачность* (diathermanité).

Свойство каменной соли — Между теплопрозрачными тѣлами особенно достойна вниманія *каменная соль*. Вещество это обладаетъ наибольшею теплопрозрачностью; изъ 100 лучей она передаетъ 92,3 и что въ-особенности замѣчательно, что количество это остается одно и то же, *какова бы ни была толщина пластинки*. Изъ этого выводятъ, что каменная соль вовсе не поглощаетъ падающихъ лучей, и что постоянная потеря 0,077 происходитъ отъ отраженія отъ обоихъ поверхностей пластинки. Далѣе мы увидимъ еще другія любопытныя свойства этого вещества.

95. Количество отраженной теплоты. — Можно легко вычислить количество теплоты, отраженной отъ обоихъ поверхностей теплопрозрачной пластинки **) Возьмемъ сперва каменную соль. Количества теплоты, отраженной отъ обоихъ поверхностей, образуютъ въ совокупности 0,077. Чтобы узнать долю теплоты, отраженную отъ каждой поверхности, положимъ, что R количество отраженное отъ той поверхности, чрезъ которую проникаютъ лучи; тогда $1-R$ будетъ количество, проникающее въ пластинку и достигающее другой поверхности, которая въ свою очередь отразитъ количество R полученной теплоты, т.-е. $R(1-R)$. Если къ обоимъ этимъ коли-

*) Всѣ тѣла прозрачны, когда они находятся въ видѣ пластинокъ, достаточно тонкихъ. Правдоподобно также, что они всѣ болѣе или менѣе теплопрозрачны при тѣхъ же условіяхъ, что, впрочемъ, и выходитъ изъ приведенныхъ нами опытовъ (41 и 51).

**) Annales de chimie et de physique, t. LX.

чествамъ прибавить переданное количество, то сумма будетъ равняться всему количеству теплоты, т.-е. $=1$. Такимъ-образомъ мы имѣемъ.

$$R+R(1-R)+0,923=1, \text{ откуда } R=1\pm\sqrt{0,923}=1-0,9607.$$

Первый знакъ корня не можетъ быть разсматриваемъ, потому-что R не можетъ быть болѣе 1. Взявъ знакъ —, получимъ $R=0,0393$. Чтобы получить количество, отраженное отъ стороны, сквозь которую выходитъ теплота, достаточно вычесть величину R изъ общей потери, что даетъ 0,0377.

Теплота, отраженная отъ второй поверхности, возвращается перпендикулярно къ первой, частію отъ нея отражается и возвращается ко второй. Здѣсь нѣкоторая часть выходитъ наружу, остальная же отражается и вновь встрѣчается съ первою поверхностью Изъ этого выходитъ, что передаваемый пластинкою пучокъ увеличивается посредствомъ лучей, отраженныхъ 2, 4, 6 разъ; но Меллони доказалъ, что количество теплоты, выходящее наружу послѣ нѣсколькихъ отраженій, совсѣмъ незамѣтно. И дѣйствительно, если наклонить нѣсколько пластинку значительной толщины, то отраженные внутрь лучи отбрасываются въ сторону и не возвращаются болѣе къ цѣли; тѣмъ не менѣе однако дѣйствіе на стрѣлку мультипликатора остается одно и то же.

Предположимъ теперь, что мы имѣемъ какое-либо другое вещество, а не каменную соль. Меллони во-первыхъ замѣчаетъ, что незначительная разница въ толщинѣ теплопрозрачной пластинки не производитъ видимаго измѣненія въ количествѣ пропускаемой теплоты и, слѣдовательно, тонкій слой, напр. въ $0^{mm},5$, не произведетъ примѣтнаго поглощенія теплоты, слѣдовательно, если отдѣлить такой тонкій слой отъ пластинки и поставить его параллельно передъ нею, то новую потерю, происшедшую вслѣдствіе этого отдѣленія, должно будетъ приписать отраженію лучей отъ обоихъ поверхностей тонкаго слоя Такимъ-образомъ находятъ почти то же число 0,077. Встрѣчающіяся при этомъ незначительныя разности происходятъ, вѣроятно, отчасти вслѣдствіе различной отражательной способности теплопрозрачныхъ веществъ, одинаково полированныхъ.

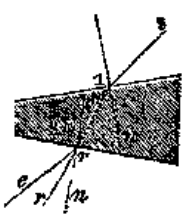
Отраженіе отъ веществъ неодаренныхъ теплопрозрачностью. На основаніи этихъ фактовъ, Меллони могъ вычислить количество отраженной теплоты отъ нетеплопрозрачныхъ тѣлъ. Меллони доказалъ

сперва, что количество теплоты, проходящей сквозь пластинку каменной соли, остается то же самое при всякомъ углѣ паденія не превышающемъ 30°, что доказываетъ, что и отраженное количество теплоты также не измѣняется. Убѣдившись въ этомъ, направляютъ теплородные лучи на толстую пластинку изъ стекла или горнаго хрусталя, при паденіи въ 25° или 30° и замѣчаютъ дѣйствіе произведенное на термомультипликаторъ лучами отраженными отъ первой поверхности. Потомъ замѣняютъ стекло пластинкою, отражательную способность которой желаютъ опредѣлить; такимъ-образомъ получается новое дѣйствіе. Отношеніе между этими двумя дѣйствіями помноженное на 0,0393, выражающее количество теплоты отражаемое стекломъ, даетъ количество отраженное тѣломъ. Мы видѣли (53) какимъ-образомъ результатъ этотъ получается болѣе прямымъ путемъ.

II. О преломленіи теплоты.

96. Мы предполагали выше, что теплородные лучи, проникающіе въ теплопрозрачное тѣло, входитъ въ него по направленію нормальной къ его поверхности. Въ противномъ же случаѣ, каждый лучъ теплоты *s1* (фиг. 49), оставаясь въ плоскости угла паденія, отклоняется на нѣкоторое количество, зависящее отъ свойствъ теплопрозрачнаго вещества. Итакъ, вмѣсто того, чтобы слѣдовать по направленію *s1*, лучъ этотъ принимаетъ другое направленіе *1r*. Явленіе это, замѣченное также и въ свѣтѣ, называется *преломленіемъ*. Лучъ *1r* называется *лучомъ преломленнымъ* и уголъ *n1r* есть *уголъ преломленія*. Вообще лучъ преломленный приближается къ нормальной, когда изъ средины менѣе плотной, онъ переходитъ въ средину болѣе плотную и удаляется отъ нормальной въ противномъ случаѣ. Такъ-какъ лучъ *1r*, выходя въ точкѣ *r*, изъ твердаго теплопрозрачнаго тѣла, чтобы проникнуть въ воздухъ, отклоняется отъ нормальной по направленію *re*, вмѣсто того, чтобы продолжать путь по направленію *1rr*.

фиг. 49

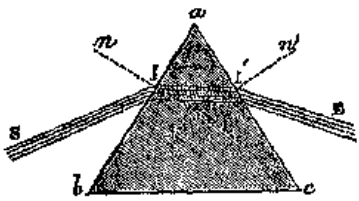


Законы преломленія должны быть разсматриваемы какъ тождественные и для теплорода, ибо проистекающія изъ нихъ явленія, про-

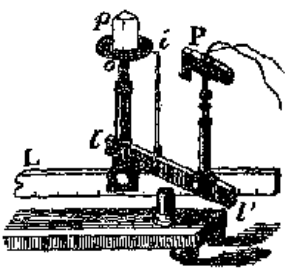
являются одинаковымъ образомъ, какъ для теплорода, такъ и для свѣта. Между этими явленіями должно упомянуть о дѣйствіи призмъ и сферическихъ стеколъ или чечевицъ.

Призмы. Призма, употребляемая для преломленія, состоитъ обыкновенно изъ средины ограниченной двумя взаимно пересѣкающимися плоскостями; линія пересѣченія называется *вершиною* призмы. Чаще всего третья плоскость, параллельная вершинѣ, заключаетъ средину съ третьей стороны; чрезъ это получается видъ геометрической треугольной призмы Пусть *abc* (фиг. 50) вертикальный разрѣзъ призмы, состоящей изъ теплопрозрачнаго вещества, и *sI* пучокъ лучей параллельныхъ этому сѣченію и падающихъ на сторону *ab*. Каждый изъ лучей будетъ отклоненъ, приближаясь къ продолженной нормальной *nI*. Достигнувъ *I'*, лучъ будетъ отклоненъ, удаляясь отъ нормальной *n'I'*, и слѣдовательно, выходящій лучъ *I'e* будетъ отклоненъ въ противоположную сторону вершины *a* призмы. Опытъ съ давняго времени подтвердилъ это для солнечныхъ лучей, что въ этомъ случаѣ также доказываетъ явленіе теплороднаго преломленія; но существованіе его долго оспаривали въ случаяхъ темной теплоты. Всѣ сомнѣнія на этотъ счетъ разсѣялъ Меллони *. Опытъ производится слѣдующимъ образомъ: на линейку *LL* столика Меллони ставятъ другую линейку *ll'* (черт. 51), двигающуюся вокругъ вертикальной оси, которая охватываетъ нижнимъ концомъ линейку *L* и прикрѣпляется къ ней посредствомъ нажимательнаго винта. На продолженіи этой оси находится подставка *lo* и уголъ образуемый обоими линейками узнается посредствомъ показателя *i* и дѣленій на кругѣ *o*. На кругѣ этомъ утверждаютъ вертикально призму *p* изъ *каменной соли*, а цвѣтъ *P* находится на линейкѣ *ll'* на одинаковой высотѣ съ призмою. Пучокъ лучей, испускаемый сосудомъ съ кипяткомъ и ограниченный въ объемѣ посредствомъ экрана съ отверстіемъ, встрѣчаетъ призму,

фиг 50.



фиг 51.

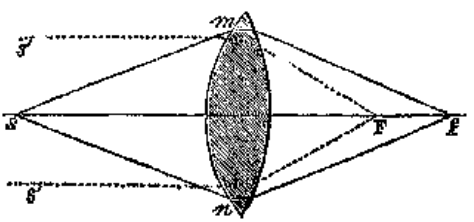


* Annales de chimie et de physique, 2 série, t. LV.

переломляется проходя сквозь оную и падаетъ на цѣпь, которой даютъ надлежащее положеніе, поворачивая мало-по-малу линейку ll'. Если отнять призму, то стрѣлка мультипликатора, которая прежде была отклонена, приходитъ опять въ спокойное состояніе; то же произойдетъ, если повернуть призму на полкругъ, такъ чтобы ребро ея вершины измѣнило свое положеніе; это показываетъ, что дѣйствіе на цѣпь не произошло отъ теплоты будто бы лучеиспускаемой призмою, вслѣдствіе предварительнаго нагрѣванія.

97. Свойства сферическихъ стеколъ.—Сферическимъ стекломъ или чечевицею называютъ средину, ограниченную двумя сферическими поверхностями. Мы разсмотримъ случай, когда эти сферическія поверхности выпуклыя. *Осью* чечевицы называется прямая, проходящая чрезъ центры двухъ ея кривыхъ поверхностей. Пусть будетъ mn (фиг. 52,

фиг. 52.



разрѣзъ чечевицы въ плоскости проходящей чрезъ ось sf, и предположимъ, что каждая изъ сторонъ чечевицы составляетъ весьма малую только часть поверхности шара; положимъ также, что чечевица эта состоитъ изъ каменной соли. Меллони узналъ изъ опыта, что если расположить на оси чечевицы, на довольно далекомъ разстояніи отъ этой послѣдней, нагрѣтую точку s, то лучи пройдя сквозь эту средину, соберутся въ одной и той же точкѣ f, называемой *фокусомъ*, гдѣ замѣчаютъ значительное возвышеніе температуры, тотчасъ исчезающей, когда термометрическій снарядъ находится внѣ фокуса. Явленіе это есть слѣдствіе законовъ преломленія и можетъ быть выведено изъ нихъ теоретически, какъ это доказывается въ оптикѣ. Если падающіе лучи s и s' параллельны оси чечевицы, то образуемый ими фокусъ F называется *главнымъ фокусомъ*. Когда лучеиспускающая точка расположена въ главномъ фокусѣ, то лучи проходящіе сквозь чечевицу выходятъ параллельно ея оси. Наконецъ, всѣ эти свойства существуютъ только приблизительно, если поверхности чечевицы не безконечно малы относительно ихъ радіуса кривизны; тогда преломленные лучи не собираются въ строгомъ смыслѣ въ одной и той же точкѣ, но тѣмъ не менѣе однако пространство это весьма мало.

Съ давнихъ временъ было доказано, что теплородные лучи, исхо-

дящіе изъ солнца, сосредоточиваются, вмѣстѣ съ свѣтомъ, въ главномъ фокусѣ стеклянныхъ чечевицъ, но полагали, что свѣтъ, сопровождающій эти лучи, есть необходимое условіе для произведенія этого явленія. Шеле даже утверждалъ, что теплота, производимая пламенемъ, не производитъ никакого возвышенія температуры въ фокусѣ чечевицъ. Впослѣдствіи Гершель доказалъ возбужденіе теплоты въ фокусѣ стеклянныхъ чечевицъ, когда источникомъ были пламя или раскаленныя твердыя тѣла. Меллони первому удалося этотъ опытъ съ темною теплотою, при помощи чечевицъ, сдѣланныхъ изъ каменной соли,— вещества одареннаго въ высшей степени теплопрозрачностью.

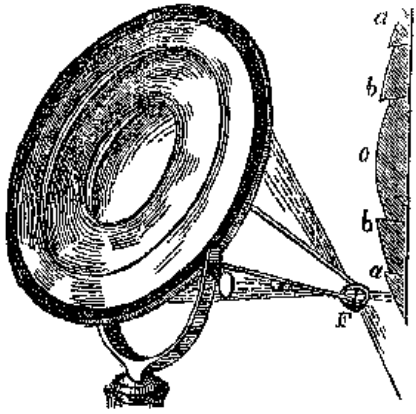
96. Зажигательныя стекла. — Зажигательное стекло есть ни что иное, какъ чечевица изъ стекла, или всякаго другаго теплопрозрачнаго вещества, предназначенная для собиранія въ фокусѣ параллельныхъ лучей солнца. Свойство это было извѣстно древнимъ, пользовавшимся имъ для произведенія воспламененія, какъ это доказываетъ мѣсто въ комедіи Аристофана «Облака» * Посредствомъ чечевицъ въ 5 или 6 сантиметровъ можно воспламенять дерево, а давъ чечевицамъ большое отверстіе, и увеличивъ въ то же время радіусъ кривизны обоимъ сферическимъ поверхностямъ, — такъ чтобы они содержали только весьма малое число градусовъ, —можно достигнуть въ фокусѣ весьма значительное дѣйствіе, превосходящее дѣйствіе производимое зажигательными зеркалами (40). Между зажигательными стеклами наиболѣе извѣстными, упоминаютъ о стеклахъ Тиирнгаузена (Tchirnhausen), имѣвшія около метра въ діаметрѣ. Въ фокусѣ этихъ стеколъ всѣ горючія вещества воспламеняются мгновенно, —земляныя превращаются въ стекло —металлы, даже золото, плавятся.

Чечевицы съ уступами. Часть теплоты поглощается стекломъ чечевицы, и поглощеніе это бываетъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ толще чечевица. Для уменьшенія этой потери, которая болѣе всего ощущается въ срединѣ, Бюффонъ придумалъ *чечевицы съ уступами*

*) «Видали-ль вы у мѣсяцтильщиковъ прекрасный прозрачный камень, который служитъ имъ для добыванія огня?—Ты говоришь о стеклѣ?—Да.—Ну, такъ чтожь ты съ этимъ сдѣлаешь? — А вотъ что, я возьму стекло, и станъ его такимъ-образомъ на солнцѣ, я расплавлю издалека все, что онъ писалъ». (Сцен. 1, дѣйств. 2).

(черт. 53). Одна сторона чечевицы была плоская, различныя же части сферической поверхности другой стороны были расположены между собою уступами, такимъ-образомъ, что въ совокупности сторона эта состояла изъ колецъ окружающихъ центральную чечевицу *o*, разрѣзъ которыхъ можно видѣть въ *aa*, *bb*. Независимо отъ уменьшенія толщины, отъ подобнаго расположенія, здѣсь достигаютъ еще ту выгоду, что различнымъ кольцамъ можно придать такія кривизны, чтобы преломленные лучи соединялись въ точности въ одной и той же точкѣ. Бюффонъ устроивалъ эти чечевицы изъ одной сплошной массы стекла Френель усовершенствовавшій ихъ во многомъ, съ цѣлью приспособленія ихъ къ освѣщенію маяковъ, придумалъ составить эти чечевицы изъ нѣсколькихъ кусковъ, соединенныхъ между собою посредствомъ рыбьяго клея и устранилъ такимъ-образомъ важное препятствіе при изготовленіи этихъ стеколъ, заставившее даже вовсе отказаться отъ ихъ употребленія.

Фиг. 53



Бюффонъ также придумалъ дѣлать зажигательныя стекла изъ жидкостей. Двѣ стеклянныя пластинки съ параллельными поверхностями, имѣвшими сферическую кривизну, подобно тому, какъ у стеколъ карманныхъ часовъ, были соединены по краямъ и образовавшійся между ними промежутокъ наполненъ жидкостью. Надъ отверстіемъ сдѣланнымъ въ верхней части находился сосудъ, принимавшій избытокъ жидкости, расширенной дѣйствіемъ солнечной теплоты. Однако успѣхъ былъ неполный. Впослѣдствіи Бериьеръ Bernières, и Трюдэнъ (Trudaine), устроили чечевицу съ жидкостью, въ $1^{mm},33$ діаметра, сферическія поверхности которой имѣли радіусъ въ $2^{mm},66$. Снарядъ этотъ, наполненный скипидаромъ, произвелъ самыя сильныя дѣйствія, которыхъ когда-либо достигали. Чтобъ усилить еще болѣе эти дѣйствія, конусъ выходящихъ лучей принимаютъ на второй чечевицѣ; этимъ достигается болѣе совершенное сосредоточеніе теплородныхъ лучей, распространяющихся на пространствѣ зависящемъ отъ кажущагося діаметра солнца и отъ фокуснаго разстоянія чечевицы.

Стеклянные шары, наполненные водою,—графины, имѣющіе приблизительно шарообразный видъ, также могутъ сосредоточивать солнечные лучи въ фокусѣ, въ которомъ можно сжигать горючія вещества Можно дѣлать чечевицы также изъ льда, въ 1763 году были произведены въ Англіи любопытные опыты съ чечевицею изъ льда, имѣвшею болѣе 3 метровъ въ діаметрѣ, въ фокусѣ ея можно было воспламенять порохъ, зажигать бумагу и другія горючія вещества

Зажигательныя стекла имѣютъ вообще больше силы, нежели зеркала того же діаметра. Это происходитъ отъ того, что при отраженіи отъ зеркала уничтожаются бо́льшее количество теплоты, нежели то, которое поглощается стекломъ чечевицы Тѣ и другія производятъ болѣе сильныя дѣйствія на высокихъ горахъ, послѣ дождя и при болѣе холодной температурѣ, потому-что въ этихъ различныхъ случаяхъ атмосфера бываетъ чище и солнечные лучи, проходя чрезъ нее, теряютъ слѣдовательно меньше напряженія

§ 6. О теплоцвѣтности.

I. Теплоцвѣтность теплородныхъ лучей

99. Номенклатура.—Мы знаемъ, что не всѣ лучи свѣта тождественны; они отличаются одни отъ другихъ *цвѣтомъ* Лучи свѣта разныхъ цвѣтовъ можно получить посредствомъ различныхъ способовъ. Если напр. пропускаютъ солнечный свѣтъ сквозь стеклянныя пластинки различныхъ цвѣтовъ, то пластинки эти, такъ сказать, просѣиваютъ лучи, пропуская только тѣ изъ нихъ, которые имѣютъ одинаковый цвѣтъ съ пластинкою. Эти цвѣтные лучи проходятъ всѣ съ одинаковымъ удобствомъ сквозь пластинки изъ прозрачныхъ безцвѣтныхъ веществъ, но *смотря по цвѣту лучей* болѣе или менѣе преграждаются пластинками изъ окрашенныхъ срединъ Мы тотчасъ увидимъ, что явленія эти происходятъ точно такимъ же образомъ и съ теплородомъ, и что есть теплородные лучи различныхъ качествъ, подобно тому, какъ существуютъ различно окрашенные лучи свѣта Изслѣдованіемъ этихъ замѣчательныхъ результатовъ мы также обязаны Меллони: доказавъ ихъ посредствомъ многочисленныхъ опытовъ, онъ счелъ необходимымъ обозначить самые факты особенными наименованіями, не заимствуя ихъ у свѣта, потому-что они не всегда удобопримѣнимы къ теплороднымъ явленіямъ Такъ наприм. слово

прозрачный и слово *теплопрозрачный* не могутъ замѣнять другъ друга, потому-что нѣкоторыя непрозрачныя вещества бываютъ, однако, теплопрозрачны. Наименованія, которыя принялъ Меллони, суть нижеслѣдующія; мы ихъ напишемъ рядомъ съ соотвѣтствующими наименованіями для свѣта.

Теплородъ.	Свѣтъ.
Теплопрозрачный (diathermane, diathermique)	прозрачный.
Нетеплопрозрачный adiathermane)	непрозрачный.
Теплоцвѣтность (Thermochrose) *).	цвѣтность.
Теплоцвѣтный (Thermochroique,	цвѣтный.
Нетеплоцвѣтный (Athermochroique)	безцвѣтный.
Теплобѣлый (Leucothermique)	бѣлый
Теплочерный (Mélanothermique)	черный.

Опишемъ теперь факты, которые послужили къ принятію свойствъ теплорода, подразумѣваемыхъ подъ этими наименованіями.

109. Свойства лучей, происходящихъ отъ различныхъ источниковъ. Когда теплородные лучи проходящіе сквозь одну и ту же теплопрозрачную пластинку проистекаютъ изъ различныхъ источниковъ то количество теплоты, которое пропуститъ пластинка, не будетъ одно и то же. Справедливость этого весьма важнаго результата Меллони доказалъ посредствомъ ряда опытовъ, сдѣланныхъ при помощи четырехъ различныхъ источниковъ (фиг 48): лампы Локателли *l*,—платиновой спирали *p*, накаленной посредствомъ спиртовой лампы,—мѣдной пластинки, покрытой сажею и нагретой отъ 300° до 400°, посредствомъ спиртовой лампы, помѣщенной сзади пластинки (фиг. 54), — и наконецъ куба, наполненнаго кипяткомъ. Вотъ нѣкоторые изъ результатовъ, данныхъ этими различными источниками расположенными отъ цѣли на такомъ разстояніи, чтобы уклоненіе на мультипликаторѣ, производимое непосредственно падающими лучами, было 30°. Числа, показанныя въ нижеслѣдующей таблицѣ, представляютъ количества пропускаемыхъ лучей изъ 100 падающихъ.

фиг. 54

*) Меллони употребилъ въ началѣ слово: diathermansie, которое Пульё хотѣлъ перемѣнить въ thermansme.

Общая толщина пластинокъ 2^{mm},6.	Лампа Локателли.	Раскаленная платина.	Мѣдь покр. саж. нагр. до 390°.	Мѣдь покр. саж. нагр. до 100°.	Общая толщина пластинокъ 2^{mm},6.	Лампа Локателли.	Раскаленная платина.	Мѣдь покр. саж. нагр. до 390°.
Чистая каменная соль . . .	92	92	92	92	Зеленый турмалинъ .	18	16	3
Каменная соль мутная . . .	65	65	65	65	Сѣрнокислая известь . .	14	5	0
Исландскій шпатъ	39	28	6	0	Лимонная кислота	11	2	0
Зеркальное стекло	39	24	6	0	Квасцы . . .	9	2	0
Горный кристаллъ	38	28	6	0	Совершенно чистый ледъ . . .	6	0	0

Разсматривая эту таблицу мы видимъ, что, исключая каменной соли, число переданныхъ лучей тѣмъ менѣе, чѣмъ меньше абсолютная температура источника. При толщинѣ въ 2^{mm},6 всѣ лучи источника въ 100° поглощаются. Замѣтимъ еще, что порядокъ которому слѣдуютъ тѣла относительно способности пропусканія, не всегда одинъ и тотъ же для различныхъ источниковъ, такъ наприм. горный кристаллъ,— передающій меньше теплоты, чѣмъ исландскій шпатъ и зеркальное стекло, когда лучи происходятъ изъ лампы Локателли,—пропускаетъ столько же лучей, какъ первое изъ этихъ веществъ и больше чѣмъ второе, когда лучи испускаются раскаленною платиною, и столько же какъ оба эти тѣла, когда источникомъ будетъ служить мѣдь нагрѣтая до 390° температуры

Жидкости представляютъ тѣ же самыя явленія. Такъ какъ теплота, поглощаемая обоими пластинками стекла, между которыми помѣщается жидкость, измѣняется съ источникомъ, то для убѣжденія въ томъ, что то же бываетъ и съ заключенною жидкостью, достаточно замѣтить, что всѣ количества, поглощенныя при различныхъ источникахъ, гораздо менѣе количествъ поглощаемыхъ одними стеклянными пластинками Для весьма тонкихъ слоевъ жидкости, стеклянныя пластинки замѣняютъ пластинками изъ каменной соли, что даже можно дѣлать при употребленіи воды, ибо Меллони доказалъ что способность теплопрозрачности чистой воды и воды, насыщенной солью и заключенной между двумя пластинками изъ стекла, почти одна и та же.

Мы предполагали до-сихъ-поръ, что толщина пластинокъ одна и та же. Если же толщина эта увеличивается, то въ то же время возрастаетъ и поглощеніе, такъ, что разности становятся гораздо замѣтнѣе, когда для одного и того же вещества измѣняютъ источникъ. Но вмѣстѣ съ этимъ также замѣчаютъ, что съ увеличеніемъ толщины поглощенное количество увеличивается тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе эта самая толщина (93). Эти различные результаты можно видѣть изъ слѣдующей таблицы:

Толщина въ миллиметрахъ	Стекло.			Горный кристаллъ прозрач.			Дымч. кварцъ.			Рѣпов. масло.		Вода.	
	Лампа Локателли.	Раскаленная платина.	Мѣдь при 400°.	Лампа Локателли.	Раскаленная платина.	Мѣдь при 400°.	Лампа Локателли	Раскаленная платина.	Мѣдь при 400°.	Лампа Локателли.	Раскаленная платина.	Лампа Локателли.	Раскаленная платина.
0,5	77,5	62,1	14,4	78,6	69,5	14,7	81,7	70,0	15,4	64,0	32,0	25,1	8,7
1,0	73,3	51,5	9,9	76,8	65,1	11,3	78,6	65,0	12,3	48,3	22,7	19,3	5,7
1,5	70,4	46,1	6,7	74,8	62,5	9,7	»	»	»	41,0	18,6	16,0	4,2
2,0	68,2	42,8	5,0	73,3	60,0	8,7	75,1	60,3	9,2	36,1	16,3	13,9	3,2
2,5	66,5	»	»	72,5	»	»	»	»	»	32,7	»	»	»
3	65,3	38,3	2,9	71,8	57,6	7,3	73,1	57,4	7,8	30,6	13,6	11,4	2,0
4	63,4	35,8	2,0	70,8	55,3	6,6	71,4	54,8	7,0	27,8	12,0	10,0	1,5
6	60,9	32,3	1,4	69,8	51,4	5,4	»	»	»	23,9	9,8	8,6	1,0
8	59,2	29,6	1,1	69,3	48,4	4,6	»	»	»	21,8	8,1	8,0	0,6
10	»	»	»	»	»	»	»	»	»	21,7	7,1	7,7	0,4
11	»	»	»	»	»	»	»	»	»	20,9	6,7	7,7	0,3
50	»	»	»	»	»	»	»	»	»	12,5	2,1	2,4	0
86	»	»	»	»	»	»	59,0	35,0	0,7	»	»	»	»
100	»	»	»	»	»	»	»	»	»	8,1	1,2	1,3	0
150	»	»	»	»	»	»	»	»	»	6,1	»	0,7	0
200	»	»	»	»	»	»		»	»	5,3	»	»	»

При вычисленіи результатовъ, содержащихся въ этой таблицѣ, приняты въ соображеніе потери вслѣдствіе отраженія отъ обоихъ сторонъ пластинки; къ тому же не всѣ изъ этихъ результатовъ получены непосредственно изъ опыта, такъ какъ толщина пластинокъ, употребленныхъ при опытѣ, не всегда соотвѣтствовала толщинѣ, по-

казанной въ таблицѣ, по сравнивъ результаты полученные для толщинъ мало между собою разнившихся, вычисляли, посредствомъ интерполяціи, результаты соотвѣтствовавшіе показаннымъ въ таблицѣ толщинамъ.

101. Теплоцвѣтность. Для объясненія вышеизложенныхъ свойствъ, необходимо допустить, какъ это уже сдѣлалъ Деларошъ (89), что есть различнаго рода теплородные лучи, ибо лучи различныхъ источниковъ не обнаруживаютъ одинаковыхъ свойствъ при прохожденіи сквозь одну и ту же теплоцвѣтную пластинку, что равно справедливо для темной и для свѣтлой теплоты, точно такъ же какъ и лучи свѣта различныхъ цвѣтовъ проходятъ не въ одинаковыхъ количествахъ сквозь пластинку изъ синяго и сквозь пластинку изъ краснаго стекла

Есть вещества, которыя тѣмъ больше пропускаютъ лучей, чѣмъ слабѣе собственная температура источника. Такова наприм. пластинка изъ каменной соли покрытая сажею, или лучше сказать сажа, которой пластинка каменной соли только служитъ подставкою. Передача сквозь этотъ слой сажи совершается по общимъ законамъ 93, только поглощеніе лучей бываетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ выше температура источника. Мы, слѣдовательно, должны сказать, что лучи, испускаемые наиболѣе горячими источниками, испытываютъ при прохожденіи сквозь пластинки вообще менѣе потери, нежели лучи болѣе слабыхъ источниковъ, мы видимъ однако, что случается и противное

Изъ опытовъ Де-ла-Провоста и Дезепа * выходитъ также, что источники, имѣющіе одну и ту же температуру, могутъ испускать лучи поглощаемые различно. Покрывъ одну половину стороны кубическаго сосуда слоемъ *киновари*, а другую половину слоемъ *сажи*, Де-ла Провоста и Дезепъ наполнили сосудъ масломъ, котораго температура была 173°; отношеніе непосредственныхъ лучеиспусканій обоихъ поверхностей равнялось 0,83, послѣ прохожденія лучей сквозь тонкую пластинку стекла, отношеніе сдѣлалось равнымъ 0,67, слѣдовательно лучи, испускаемые киноварью, поглощаются въ большемъ количествѣ, нежели лучи испускаемые сажею.

Слово *теплоцвѣтность* служитъ для обозначенія этого качества теплородныхъ лучамъ, содѣлывающаго ихъ болѣе или менѣе способными быть пропускаемыми сквозь одно и то же теплопрозрачное

* Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences, tome 25.

ное вещество. Пучокъ или токъ теплородныхъ лучей должно разсматривать какъ-бы составленнымъ изъ смѣси различнаго рода лучей, зависящей отъ свойства источника испускающаго лучи. Каждое теплопрозрачное вещество преграждаетъ преимущественно извѣстный родъ этихъ лучей, такъ-что потеря будетъ больше или меньше, смотря по роду состава теплороднаго тока, т. е. по свойству источника, различныя вещества преграждаютъ, въ различныхъ пропорціяхъ, лучи одного и того же источника, смотря потому, на сколько эти вещества *теплоцвѣтны*, подобно тому какъ окрашенныя стекла, смотря по ихъ собственному цвѣту, болѣе или менѣе преграждаютъ лучи имѣющіе тотъ же цвѣтъ, но въ разныхъ оттѣнкахъ.

102. Каменная соль нетеплоцвѣтна. Каменная соль представляетъ замѣчательную особенность: чистая—она вовсе не поглощаетъ падающей теплоты, какова бы ни была толщина пластинки и каковъ бы ни былъ источникъ испускающій лучи.—Немного мутная—она поглощаетъ нѣсколько теплоты, но въ равномъ количествѣ для различныхъ источниковъ. Слѣдовательно, каменная соль относится къ теплороду, какъ прозрачныя и *безцвѣтныя* вещества относятся къ свѣту; она нетеплоцвѣтна (99) тогда-какъ горный кристаллъ, кварцы, исландскій шпатъ и проч. суть теплоцвѣтны и могутъ быть уподоблены окрашеннымъ стекламъ въ отношеніи къ свѣту. Поименованныя эти тѣла, горный кристаллъ и т. д., не пропускаютъ въ одинаковомъ количествѣ теплородные лучи различной *теплоцвѣтности*.

Мнѣніе это, развитое Меллони весьма удачно, объясняетъ, почему теплота, прошедшая сквозь первую теплопрозрачную пластинку, испытываетъ относительно меньшую потерю при прохожденіи сквозь вторую пластинку изъ того же вещества (93). Дѣйствительно, пучокъ лучей, проходящій сквозь вторую пластинку, былъ уже лишенъ, при прохожденіи сквозь первую, большей части лучей преграждаемыхъ этимъ веществомъ. То же бываетъ со свѣтомъ, прошедшимъ сквозь окрашенное стекло, онъ уже весьма легко проходитъ потомъ сквозь вторую пластинку того же цвѣта. Но еслибы вторая пластинка была другаго цвѣта, то свѣтъ, проходя сквозь нее, испыталъ бы относительно гораздо большую потерю, ибо въ этомъ случаѣ пластинка получала бы только такіе лучи, которые она имѣетъ свойство поглощать.

103. Передача сквозь нѣсколько различныхъ пластинокъ. Меллони доказалъ, что лучи прошедши извѣстную пластинку, испытываютъ различныя потери при прохожденіи сквозь другую, смо-

гря по свойству этой послѣдней. Если вторая пластинка остается та же самая, а будетъ перемѣнена та, сквозь которую сперва должны пройти лучи, то отношеніе между падающею теплотою и пропущенною второю пластинкою, будетъ зависѣть отъ вещества сперва пройденнаго лучами. Это можно видѣть изъ нижеслѣдующей таблицы, показывающей число пропущенныхъ лучей, на 100 падающихъ, при пластинкахъ толщиною въ 2^{mm}, когда лучи эти сперва проходили сквозь вещества означенныя въ главѣ каждаго изъ столбцевъ

Вещества расположенныя непосредственно передъ вѣсы.	Непосредственные лучи лампы Локателли	Вещества перед пропусканіемъ лучей				
		Красная толщиною 2^{mm}, 6	Сѣрноамиловая кислота толщиною 2^{mm}, 6	Хрусталь толщиною 2^{mm}, 1	Зеленое стекло толщиною 1mm, 85.	Черное стекло толщиною 1mm, 85.
Каменная соль . . .	92	92	92	92	92	92
Исландскій шпатъ. . .	30	90	89	86	80	85
Стекло (толщ. 0mm, 5) .	54	90	86	68	87	80
Горный кристаллъ . .	38	91	80	52	78	54
Черная слюда (т. 0mm 9)	20	0,4	12	16	38	43
Зеленый турмалинъ .	18	1	10	14	24	30
Сѣрнокислая известь	14	59	54	22	9	16
Лимонная кислота . .	11	88	52	16	3	2
Квасцы	9	90	47	15	0,9	0,3

Результаты, показанные въ этой таблицѣ не измѣнятся, если обѣ пройденныя пластинки замѣнить одну другою, но не изменяя положеніе источника; порядокъ расположенія пластинокъ также не будетъ имѣть вліянія, еслибы вмѣсто двухъ было бо́льшее число пластинокъ*). Изъ этого надо заключить, что каждый лучъ извѣстнаго рода дѣйствуетъ одинаковымъ образомъ по всѣхъ проходимыхъ имъ пластинкахъ, за исключеніемъ потерь, которыя испытываетъ напряженіе луча.

* Annales de chimie et physique, 2 série, t. IV

Изъ вышеприведенной таблицы видно, что каменная соль пропускаетъ одно и то же количество теплородныхъ лучей, каковы бы ни были пластинки первоначально пройденныя теплородными токомъ. Черная слюда пропускаетъ только 0,004 количества теплоты, прошедшей сквозь квасцы, и 0,43 теплоты прошедшей сквозь черное стекло. Лимонная кислота, напротивъ, пропускаетъ только 0,02 теплоты исходящей изъ чернаго стекла и 0,88 того количества, которое прошло сквозь квасцы, и т. д. Уподобляя эти факты тѣмъ, которые происходятъ при прохожденіи свѣта сквозь различныя окрашенныя стекла, можно сказать, что квасцы и лимонная кислота имѣютъ почти одну и ту же *теплоцвѣтность* и что, напротивъ, черная слюда и квасцы имѣютъ *теплоцвѣтности* весьма различныя одна отъ другой. Стекла, различно окрашенныя, имѣютъ по большей части одинаковую теплоцвѣтность потому-что теплота прошедшая сквозь одно изъ нихъ, проходитъ въ большомъ количествѣ и сквозь другое. Даже черное стекло измѣняетъ проходящій сквозь него пучокъ лучей такимъ-образомъ, что онъ потомъ легко проходитъ сквозь пластинку прозрачнаго стекла, тогда какъ эта послѣдняя пропускаетъ только весьма незначительное количество лучей, прошедшихъ сквозь каменную соль, покрытую слоемъ сажи.

Исключеніе изъ этого составляетъ стекло, окрашенное въ зеленый цвѣтъ посредствомъ окиси мѣди; оно не имѣетъ той же теплоцвѣтности какъ стекла окрашенныя другими веществами; кромѣ же оно гораздо менѣе теплопрозрачно, такъ-что, если собрать лучи солнца въ фокусѣ чечевицы сдѣланной изъ этого стекла, то получится свѣтъ весьма сильнаго блеска; но термоэлектрическая цѣпь не покажетъ ни малѣйшаго возвышенія температуры. Это обстоятельство вновь подтверждаетъ независимость лучей теплорода отъ лучей свѣта.

104. Различная преломляемость лучей теплорода. Лучи свѣта, имѣющіе различный цвѣтъ, не одинаково преломляются; проходя наприм. чрезъ одну и ту же призму, они отклоняются различно. Меллони доказалъ то же самое для лучей различной теплоцвѣтности. Для этого онъ устроилъ цѣпь, которой полоски были расположены въ одной и той же плоскости, такъ-что слои каждой стороны составляли весьма узкую вертикальную полосу. Замѣнивъ этой цѣпью цѣпь на черт. 51, направляетъ на призму пучокъ лучей, ограниченный въ объемѣ посредствомъ узкаго вертикальнаго разрѣза, сдѣланнаго въ экранѣ, а располагаю ъ цѣпь такимъ-образомъ, чтобы получить наи-

бо́льшее дѣйствіе. Потомъ перемѣняютъ источникъ и находятъ, что уголъ образуемый линейкою ll' (фиг. 51) съ линейкою L тѣмъ больше, чѣмъ выше температура источника. Но какъ лучи источниковъ, имѣющихъ наибо́льшее напряженіе, принадлежатъ также къ лучамъ легче другихъ пропускаемымъ *), то видно, что лучи легче пропускаемые также и наиболѣе отклоняются, т.-е. наиболѣе преломляются. Сохраняя тотъ же источникъ, но пропуская лучи, до паденія ихъ на призму, сквозь пластинки измѣняющія теплородные лучи (103), получаютъ также различныя отклоненія. Такимъ-образомъ и здѣсь обнаруживается разительное сходство между явленіями теплорода и свѣта.

105. Законъ поглощенія теплоты при прохожденіи сквозь теплопрозрачныя пластинки. Біо (Biot) вывелъ этотъ законъ слѣдующимъ образомъ **): разсмотримъ сперва только одинъ лучъ извѣстнаго рода, падающій нормально на теплопрозрачную пластинку, и имѣющій напряженіе i. Лучъ этотъ во-первыхъ испытуетъ отраженіе, которое уменьшитъ его напряженіе пропорціонально r, такъ-что напряженіе проникающей части луча будетъ $i(1-r)$, и именно это будетъ то количество, на которое дѣйствуетъ поглощательная способность. Часть теплоты, которая не будетъ поглощена, составитъ нѣкоторую неизвѣстную функцію φ толщины e, т.-е. $\varphi\ e$. Напряженіе луча у второй поверхности, слѣдовательно, будетъ $i(1-r)\ \varphi\ (e)$. Здѣсь совершится снова отраженіе, которое остановитъ долю r' теплоты, стремящейся наружу, такъ-что напряженіе луча выходящаго будетъ $i(1-r)(1-r')\ \varphi\ (e)$. Если лучъ пройдетъ сквозь вторую пластинку одинаковаго съ первою вещества, имѣющую толщину e', то переданное напряженіе луча при выходѣ будетъ $i\ (1-r)^2\ (1-r')^2\ \varphi\ (e)\ \varphi\ (e')$.

Возьмемъ теперь пучокъ, составленный изъ нѣсколькихъ лучей различнаго рода, имѣющихъ напряженія i, i', i'', и поглощаемыхъ различнымъ образомъ, что обозначимъ чрезъ функціи φ, φ', φ'' . Напряженіе *I пучка* послѣ того, какъ онъ пройдетъ сквозь первую пластинку, будетъ равняться суммѣ напряженій каждаго выходящаго луча, т.-е

$$J=(1-r)\ (1-r')\ [i\varphi\ (e)+i'\varphi'\ (e)+i''\varphi''\ (e)+\ldots]$$

*) Исключая слѣдствія (101).

**) Mémoires de l'Académie des sciences de l'Institut, t. XIV, p. 466.

и послѣ прохожденія сквозь двѣ пластинки того же вещества,

$$b)\ J' = (1-r')^2\,(1-r)^2\,[i'\varphi(e)\,\varphi(e') + i\varphi'(e)\,\varphi'(e') + \ldots\ldots]$$

Положимъ теперь, что тотъ же пучокъ проходитъ сквозь пластинку того же вещества, но толщиною въ $e+e'$; напряженіе выходящаго пучка, на основаніи формулы (a), будетъ

$$J'' = (1-r)\,(1-r')\,[i\varphi(e+e') + i'\varphi'(e+e') + \ldots\ldots]$$

Но опытъ показываетъ, что $J = (1-r)\,(1-r')\,J''$, т.-е. что поглощеніе останется то же самое, будутъ ли пластинки соединены въ одну или отдѣлены одна отъ другой, ибо множитель $(1-r)\,(1-r')$ выражаетъ потерю испытываемую у обоихъ излишнихъ поверхностей, когда пластинки бываютъ раз'единены. Замѣняя J, J' соотвѣтствующими имъ величинами, получимъ

$$i\varphi(e+e') + i'\varphi'(e+e') + \ldots\ldots = i\varphi(e)\,\varphi(e') + i'\varphi'(e)\,\varphi'(e') + \ldots\ldots$$

уравненіе, справедливое при какихъ бы ни было i, i', e, e', что требуетъ, чтобы порознь

$$\varphi(e+e') = \varphi(e)\,\varphi(e'),\quad \varphi'(e+e') = \varphi'(e)\,\varphi'(e')\ \ldots\ldots$$

Равенства же эти только могутъ существовать, какъ доказалъ Пуассонъ (*Poisson*), когда предположимъ $\varphi(e) = a^e$, гдѣ a постоянная зависящая отъ свойствъ пластинки и теплородиаго луча, и тогда мы въ-самомъ-дѣлѣ имѣемъ

$$\varphi(e)\,\varphi(e') = a^e \times a^{e'} = a^{e+e'}.$$

Слѣдовательно, напряженіе теплороднаго пучка, выходящаго изъ пластинки, толщина которой e, равняется:

$$(1-r)\,(1-r')\,(ia^e + i'a'e + i''a''e + \ldots).$$

Мы видимъ, что *каждый лучъ проходящій сквозь пластинку, подвергается въ ней поглощенію, уменьшающемуся въ геометрической прогрессіи, когда толщина пластинки возрастаетъ въ прогрессіи*

ариѳметической. Знаменатель a первой прогрессіи зависитъ отъ свойствъ пластинки и падающаго луча. Величина a положительная и необходимо менѣе 1, ибо $a=1$ предполагаетъ, что количество переданной теплоты равно-проникающей, какъ у каменной соли, и $a=o$ соотвѣтствуетъ случаю, когда не существуетъ вовсе пропусканіе теплоты. Чѣмъ менѣе a, тѣмъ вещество менѣе теплопрозрачно. Мы видимъ также, что потеря, испытываемая въ слоѣ толщины e, тѣмъ незначительнѣе, чѣмъ больше слоевъ такой толщины уже прошла теплота; ибо потеря равняется $1-ma^{ne}$ гдѣ n выражаетъ число пройденныхъ слоевъ. Потеря эта будетъ, если прибавить одинъ слой, $1-ma^{(n+1)e}$. Избытокъ этой потери надъ предъидущею будетъ $ma^{ne}(1-a^{e})$; количество же это тѣмъ меньше, чѣмъ больше n, потому-что a составляетъ дробь.

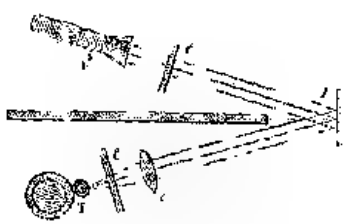
II. Теплоцвѣтность тѣлъ.

106. Мы разсматривали до-сихъ-поръ лучи различнаго рода теплоты и сравнивали эти лучи, относительно производимыхъ ими дѣйствій, съ лучами свѣта различнаго цвѣта. Но мы знаемъ также, что тѣла освѣщенныя одними и тѣми же лучами свѣта, показываютъ однако различные цвѣта, т.-е. разбрасываютъ падающій свѣтъ подъ различными цвѣтами

Мы увидимъ сейчасъ, что теплота, отраженная бо́льшею частью шероховатыхъ поверхностей, также обнаруживаетъ различныя свойства, т.-е что поверхности эти обладаютъ различнаго рода *теплоцвѣтностью*. Но сперва слѣдуетъ указать, какимъ-образомъ Меллони, которому обязаны также этимъ открытіемъ, удалось доказать существованіе разбросанной теплоты и отличить ее отъ теплоты изданной поверхностью тѣлъ, или правильно отъ нея отраженной *).

Разбрасываніе теплоты diffusion. Кругъ r (фиг. 55), сдѣланный изъ плотнаго дерева, покрываютъ съ одной стороны сажею, а съ другой какимъ-либо бѣлымъ веществомъ, онъ расположенъ вертикально на горизонтально вращающейся площадкѣ. Въ L находится лампа, а въ P термоэлектрическая цѣпь, ихъ раздѣляетъ широкій экранъ Лучамъ

фиг. 55.



*) Annales de chimie et de physique, 3-e série, t. XXII, p. 372.

источника сообщено приблизительно параллельное направленіе, посредствомъ выпуклаго стекла b, которое въ то же время очищаетъ пучокъ теплородныхъ лучей, удерживая изъ нихъ лучи извѣстнаго рода Теплопрозрачный экранъ e служитъ для того, чтобы разнообразить свойство теплородныхъ лучей, падающихъ на кругъ r. Теперь, если мы обратимъ выбѣленную сторону круга къ источнику и къ цѣпи, то увидимъ, что стрѣлка мультипликатора тотчасъ уклонится отъ 25° до 30°

Свойства разбросанной теплоты.—Результатъ этотъ есть слѣдствіе разбрасывающаго отраженія, ибо, во-1-хъ, стрѣлка приходитъ въ движеніе немедленно вслѣдъ за раскрытіемъ источника, что доказываетъ, что отклоненіе совершается независимо отъ нагрѣванія круга, къ тому же если мы обратимъ къ источнику сторону круга покрытую сажею, то получится только весьма слабое дѣйствіе, тогда какъ извѣстно, что черный цвѣтъ согрѣвается гораздо скорѣе бѣлаго; во-2-хъ, по прегражденіи лучей лампы, стрѣлка тотчасъ возвращается назадъ употребляя всегда одно и то же время для достиженія до нуля, какова бы ни была поверхность причинившая отклоненіе стрѣлки; она въ обоихъ случаяхъ употребляетъ также одинаковое время, для достиженія соотвѣтствующаго отклоненія; въ-3-хъ, стеклянная пластинка,—которая бы совершенно преграждала лучи, испускаемые поверхностью столь низкой температуры, какова температура круга r (100 —поставленная въ e', только нѣсколько ослабляетъ дѣйствіе произведенное на цѣпь, потому-что выпуклое стекло b уже поглотило лучи, которые стекло способно поглощать; въ-4-хъ, полученный результатъ не можетъ быть приписанъ правильному отраженію, по причинѣ шероховатости поверхности и потому, что цѣпь можетъ быть расположена такимъ-образомъ, чтобы направленіе Pr составляло съ поверхностью круга уголъ, весьма различный отъ угла образуемаго съ тою же самою поверхностью направленіемъ Ir.

Впрочемъ, разбрасывающее отраженіе совершается по всѣмъ направленіямъ вокругъ одной и той же точки; потому-что, если мы перемѣстимъ такимъ-образомъ цѣпь, что ось ея опишетъ прямой конусъ около этой точки, то стрѣлка мультипликатора не измѣнитъ своего положенія.

Меллони производилъ также опыты съ солнечными лучами, которыя онъ пропускалъ въ темную комнату сквозь отверстіе въ $0^m,1$ сдѣланное въ ставнѣ, и принималъ потомъ на противоположной стѣнѣ. Цѣпь, расположенная противу освѣщенной части, всегда показы-

взла то же самое уклоненіе, когда ось цѣпи составляла, въ какомъ бы то ни было направленіи, тотъ же самый уголъ съ поверхностью стѣны

Сажа также отражаетъ нѣкоторую часть разбросанной теплоты, ибо стрѣлка уклоняется около 1°, когда вычерненную поверхность круга *r* обращаютъ къ источнику. Дѣйствіе это, какъ совершающееся немедленно, не можетъ быть отнесено къ лучеиспусканію круга, который бы въ этомъ случаѣ долженъ былъ сперва нагрѣться, къ тому же стеклянная пластинка, помѣщенная въ *e'*, только нѣсколько уменьшаетъ уклоненіе стрѣлки и въ количествѣ независящемъ отъ толщины пластинки, тогда-какъ она преграждала бы всю теплоту, которую бы испускала вычерненная поверхность круга

107. Вліяніе источника на разбрасываніе теплоты. Лучи свѣта различнаго цвѣта отражаются отъ крашеной тусклой поверхности въ количествахъ весьма разнообразныхъ. Теплота представляетъ подобныя же явленія; Меллони это доказалъ слѣдующимъ образомъ. Берутъ два круга изъ тонкой папки; одинъ изъ нихъ покрытъ съ обоихъ сторонъ сажею, а другой имѣетъ одну сторону черную, а другую бѣлую. Цѣпь располагается на горизонтальной линейкѣ *ll* (фиг 51), вращающейся на вертикальной оси, проходящей сквозь центръ круга. Если подвергнуть кругъ непосредственному дѣйствію источника, то онъ вскорѣ достигаетъ постоянной температуры и обѣ стороны его лучеиспускаютъ теплоту. Затѣмъ помѣщаютъ цѣпь на той же сторонѣ круга, гдѣ находится источникъ и тогда она получаетъ разбросанную теплоту, къ которой присоединяется еще испускаемая кругомъ часть поглощенной теплоты, остальная часть которой лучеиспускается другою его стороною. Поворотивъ потомъ линейку, переводятъ цѣпь на другую сторону круга, давъ ей, относительно плоскости круга, симметрическое положеніе съ прежнимъ и замѣчаютъ дѣйствіе произведенное лучеиспусканіемъ этой стороны. Чѣмъ больше будетъ разность между дѣйствіями обѣихъ сторонъ, тѣмъ значительнѣе будетъ разбрасываніе. Вотъ нѣкоторые изъ результатовъ найденныхъ этимъ способомъ: числа показываютъ количество лучей полученныхъ цѣпью, принимая за 100 количество лучей, полученныхъ ею отъ задней стороны круга, котораго обѣ стороны покрыты сажею.

Поверхность обращенная къ дѣйств.		Металлъ при 400°.	Платина раскален.	Лампа Локателли.	Лучи лампы пропускаемые чрезъ стекло.
1-й кругъ	Задняя сторона (черная).	130	160	100	100
	Передняя сторон. (черная).	118	117	119	118
2-й кругъ	Задняя сторона (черная).	93	84	69	46
	Передняя сторон. (бѣлая).	129	152	181	250

Взявъ отношенія между лучеиспусканіями обоихъ сторонъ второго круга, получимъ числа 1, 4; 1, 8; 2, 5, 4 возрастающія съ температурою источника, т.-е съ степенью переломляемости лучей и ихъ теплоцвѣтностью 104. И тутъ, слѣдовательно, замѣчается разительное сходство съ явленіями свѣта

Напротивъ, отношеніе, между лучеиспусканіями сторонъ круга совсѣмъ чернаго, почти постоянно при какомъ бы ни было источникѣ; изъ чего слѣдуетъ заключить, что сажа разбрасываетъ всегда одно и то же количество теплоты, откуда бы теплота эта ни происходила.

Должно замѣтить, что задняя сторона круга, вычерненнаго съ обѣихъ сторонъ, испускаетъ менѣе лучей, чѣмъ передняя Результатъ этотъ не можетъ быть вполнѣ приписанъ разбрасывающей способности сажи, способности весьма слабой (106), но происходитъ по большей части оттого, что передняя сторона нагревается и лучеиспускаетъ сильнѣе задней, по причинѣ трудности, съ которою теплота проходитъ сквозь кругъ, ибо разность увеличивается съ толщиною круга Сажа, слѣдовательно, отражаетъ только чрезвычайно малыя количества разбросанной теплоты, точно такъ же какъ она не отражаетъ разбросаннаго свѣта, такимъ-образомъ она въ отношеніи теплорода представляетъ то же, что и въ отношеніи свѣта, составляя относительно перваго вещество *теплочерное* (mélanothermique),—а *черное* относительно лучей свѣта, которые она безъ различія и почти совершенно уничтожаетъ, какого бы цвѣта они ни были. Вещества бѣлыя, напротивъ, *теплоцвѣтны*, равно какъ и многія другія вещества, испытываемыя на кругѣ снаряда. Металлы полированные и неполированные составляютъ тѣла *теплобѣлыя* (leucothermiques), т.-е. такія, которыя одинаково отражаютъ всякаго рода теплородные

лучи, подобно тому, какъ *бѣлыя* тѣла одинаково отражаютъ разноцвѣтные лучи свѣта. Справедливость этого доказывается тождествомъ получаемыхъ дѣйствій, при произведеніи опытовъ надъ разбрасывающими способностями, посредствомъ лампы Локателли, будетъ ли она снабжена или нѣтъ параболическимъ отражателемъ, полированнымъ или неполированнымъ. Результатъ этотъ былъ также непосредственно повѣренъ, кромѣ латуни, еще и надъ другими металлами, посредствомъ снаряда (фиг. 57). Разбрасывающая способность металловъ измѣняется съ ихъ свойствомъ. Способность эта у золота, серебра, олова, платины и мѣди болѣе, нежели у тѣлъ неметаллическихъ; свинецъ же и желѣзо имѣютъ, въ нѣкоторыхъ случаяхъ, меньшую разбрасывающую способность, нежели вещества бѣлыя, подобно тому, какъ и нѣкоторыя освѣщенныя бѣлыя тѣла не всегда представляются одинаково яркими и могутъ быть даже менѣе ярки, чѣмъ нѣкоторыя окрашенныя тѣла.

108. Свойство разбросанныхъ лучей. — Для довершенія сдѣланнаго вами уподобленія разбросанныхъ лучей теплорода разбросаннымъ лучамъ свѣта, остается еще показать, что теплородные лучи, разбросанные теплоцвѣтною поверхностью, измѣняются, съ измѣненіемъ этой поверхности, хотя бы источникъ оставался тотъ же. Доказательство этому представилъ Кноблаухъ Knoblauch, который нашелъ, что теплота, разбросанная поверхностью, покрытою карминомъ, въ бо́льшемъ количествѣ проходитъ сквозь пластинку исландскаго шпата, нежели теплота, разбросанная поверхностью черной бумаги. Подобные же результаты были получены посредствомъ пластинокъ изъ кварцовъ, гипса, краснаго и синяго стекла. Съ перемѣною источника измѣняется разность между дѣйствіями, произведенными карминомъ и черною бумагою; разность эта постепенно уменьшается, если Аргантову лампу послѣдовательно замѣнять раскаленною платиною и потомъ пламенемъ алькоголя; при употребленіи нагрѣтаго желѣза вовсе не существуетъ разности.

Легко убѣдиться, что измѣненіе въ составѣ теплороднаго пучка, послѣ разбрасыванія, происходитъ отъ неодинаковаго поглощенія различныхъ лучей теплоты, ибо тѣла, отражающія посредствомъ разбрасыванія лучи удобопроходящіе сквозь какое-либо вещество, отражаютъ только малое количество этихъ лучей, если они принадлежатъ къ такимъ, которые легко поглощаются этимъ веществомъ. Сверхъ-того, когда разбросанная теплота не отличается отъ непосредственной теплоты источника, что бываетъ при *теплобѣлой*

шероховатой поверхности, то свойство источника не имѣетъ вліянія на результаты, какъ это бываетъ въ противномъ случаѣ.

Кнобланхъ произвелъ опыты надъ 70 различными веществами; упомянемъ нѣкоторые изъ полученныхъ имъ результатовъ. Бѣлый бархатъ даетъ болѣе разбросанной теплоты, чѣмъ черный, при всякомъ источникѣ; листовое желѣзо *теплобѣло*, потому-что отражаемая имъ теплота не отличается отъ падающей теплоты, и притомъ оно съ одинаковымъ напряженіемъ отражаетъ теплоту всякаго источника. Бѣлая бумага и черный китайскій лакъ, полотна и шелковыя матеріи, бѣлыя или черныя, имѣютъ одинаковую *теплоцвѣтность*; ибо отраженные этими веществами теплородные лучи проходятъ въ равномъ количествѣ сквозь различныя теплопрозрачныя пластинки. Кристаллы вообще *теплобѣлы*; сажа и животный уголь *теплочерны*.

109. Разбрасываніе посредствомъ преломленія. — Теплота, проходящая сквозь шероховатое теплопрозрачное вещество, выходитъ разбросанная во всѣ стороны, подобно свѣту прошедшему сквозь матовую стеклянную пластинку. Чтобы доказать это, Меллони * ставилъ между цѣпью и источникомъ теплоты два экрана, имѣющіе каждый по маленькому круглому отверстію, и между экранами располагаетъ полированную теплопрозрачную пластинку, напримѣръ изъ стекла, ослабляющую своимъ присутствіемъ дѣйствіе непосредственнаго лучеиспусканія. Положеніе пластинки между обоими экранами не имѣетъ никакого вліянія на наблюдаемое постоянное отклоненіе; но если пластинка будетъ матовая, то отклоненіе это, — вообще меньшее, чѣмъ при полированной поверхности, — увеличится съ приближеніемъ пластинки къ цѣпи, потому-что въ этомъ случаѣ лучи, выходящіе изъ каждой точки во всѣ стороны, образуютъ конусъ, проходящій чрезъ отверстіе экрана и встрѣчающійся въ большей плоскости съ основаніемъ цѣпи. Дѣйствіе это не можетъ быть приписано лучеиспусканію матовой пластинки, потому-что при приложеніи ея къ какой угодно сторонѣ экрана, отклоненіе остается то же самое. Можно еще расположить передъ цѣпью стеклянную пластинку и чрезъ это дѣйствіе только мало измѣнится, между-тѣмъ какъ пластинка эта совершенно преграждала бы всѣ лучи, испускаемые матовою поверхностью, имѣющею столь слабую температуру. Послѣдній опытъ также дока-

* Annales de chimie et de physique, 2 série, t. LXXV, 374.

зываетъ, что лучи, разбросанные посредствомъ преломленія, проходятъ сквозь матовое стекло точно такъ же, какъ и сквозь полированное. Теплота, проходящая сквозь сажу, осажденную на пластинкѣ изъ каменной соли, не испытываетъ разбрасыванія И въ этомъ мы также можемъ видѣть аналогію съ тѣмъ, что происходитъ со свѣтомъ; потому-что сквозь стекло, покрытое сажею, можно различать форму весьма яркихъ тѣлъ, напр. солнца, тогда-какъ сквозь матовую стеклянную пластинку различается только слабый свѣтъ.

110. О поглощательной способности въ отношеніи различныхъ лучей — Количество теплоты, поглощенное тѣломъ, равняется количеству падающей на него теплоты, уменьшенному на количество правильно и неправильно отраженной. А какъ количество это измѣняется со свойствомъ падающихъ лучей (107), то вмѣстѣ съ этимъ должно также измѣняться количество теплоты поглощенной, что и бываетъ въ-самомъ-дѣлѣ. Покрывъ одно изъ основаній термоскопической цѣпи сажею, а другое основаніе другимъ веществомъ, напр. бѣлилами, Меллони нашелъ, что лучи, испускаемые лампою Локателли и прошедшіе сквозь пластинки изъ различныхъ веществъ, производили на оба основанія цѣпи дѣйствія, находящіяся между собою въ различныхъ отношеніяхъ, смотря по свойству падающихъ лучей Менѣе всѣхъ поглощались выбѣленнымъ основаніемъ лучи, прошедшіе сквозь квасцы, это объясняется тѣмъ, что квасцы, имѣющіе весьма незначительную теплопрозрачность, пропускаютъ только такіе лучи, которые менѣе всего способны быть поглощенными Лучи, прошедшіе сквозь черное стекло, поглощаются, напротивъ, въ большомъ количествѣ; это происходитъ отъ того, что черное стекло, преграждающее лучи свѣта, должно также останавливать теплородные лучи наиболѣе способные быть пропущенными, каковы теплородные лучи сопровождаемые свѣтомъ; лучи пропущенные бываютъ, слѣдовательно, легче поглощаемы. Когда теплота лампы проходила сквозь пластинки изъ стекла, квасцовъ, чернаго стекла, каменной соли, то поглощательныя способности выражались числами 80, 54, 43, 84, 80 — отнесенными къ сажѣ выраженной числомъ 100.

Меллони сравнилъ также поглощательныя способности нѣкоторыхъ веществъ подъ вліяніемъ различныхъ источниковъ; опыты производились посредствомъ термомультипликатора и по методѣ означенной въ § 55 Результаты, полученные имъ, суть слѣдующіе:

*

Вещества.	Лампа Локателли.	Платина раскален	Мѣдь при 400°	Мѣдь при 100.°	Лампа со стекломъ между нею и предметомъ.
Сажа	100	100	100	100	100
Ванили	53	56	89	100	24
Рыбій клей . . .	52	54	64	91	45
Китайская тушь	96	95	87	85	100
Гумми-лакъ . .	43	47	70	72	30
Металлическая поверхность	14	13,5	13	13	17

Поглощательную способность сажи выражали числомъ 100 для каждаго источника, тогда числа, показанныя въ таблицѣ, остаются при одномъ и томъ же источникѣ неизмѣнными, на какомъ бы разстояніи источникъ ни находился отъ цвѣти. Изъ этой таблицы видно, какимъ-образомъ поглощательныя способности измѣняются со свойствомъ теплородныхъ лучей.

111. Неизмѣнность поглощательной способности сажи.— Здѣсь представляется важный вопросъ для разрѣшенія: поглощаетъ ли сажа одинаковымъ образомъ всякаго рода лучи? Чтобы узнать это, надлежало бы подвергнуть вычерненное основаніе цвѣти лучеиспусканіямъ одинаковаго напряженія, производимымъ различными источниками; но, спрашивается, какимъ-образомъ можно удостовѣриться въ одинаковости напряженія, когда неизвѣстно, въ одинаковомъ ли количествѣ поглощаются различнаго рода лучи? Меллони въ этомъ случаѣ употребляетъ способъ изложенный въ статьѣ 107-й. Опытъ показываетъ, что дѣйствія, произведенныя обоими поверхностями вычерненнаго съ обѣихъ сторонъ круга, всегда относятся между собою приблизительно какъ 5 6. Отсюда слѣдуетъ заключить, что *сажа одинаково поглощаетъ всякаго рода лучи*; качество это, весьма драгоцѣнное, можетъ быть поставлено рядомъ со свойствами каменной соли относительно пропусканія лучей; безъ него не было бы возможности сравнивать напряженія различнаго рода теплородныхъ лучей. Термосконы или термометры надлежитъ, слѣдовательно, покрывать сажею при употребленіи ихъ для сравненія лучеиспуска-

ній различныхъ источниковъ; иначе показанія этихъ термометровъ будутъ зависѣть отъ поглощательной способности и теплопрозрачности поверхностей, на которыя падаютъ лучи, и показанія эти не будутъ пропорціональны напряженіямъ лучеиспусканій, когда эти послѣднія будутъ проистекать изъ различныхъ источниковъ. Металлы обнаруживаютъ, относительно одинаковаго поглощенія всякаго рода лучей, то же свойство, какъ и сажа, потому-что если расположить передъ термоэлектрическою цѣпью сперва кругъ, вычерненный съ обоихъ сторонъ, а послѣ того металлическій кругъ, вычерненный со стороны цѣпи, со стороны же, обращенной къ источнику, шероховатый и хорошо очищенный отъ ржавчины, — то всегда находятъ одно и то же отношеніе между произведенными дѣйствіями, при какомъ бы то ни было источникѣ теплоты. Результатъ этотъ можно было предвидѣть, такъ-какъ металлы суть вещества *теплобѣлыя* (107), т.-е. такія, которыя одинаково отражаютъ всякаго рода лучи.

112. Объясненіе нѣкоторыхъ явленій. Замѣчено, что во время ясной погоды снѣгъ таетъ скорѣе подъ деревьями и вокругъ кустовъ, чѣмъ въ мѣстахъ, гдѣ на него непосредственно падаютъ солнечные лучи. Фузиніери (*Fusinieri*) сдѣлалъ въ 1838 г. множество наблюденій по этому предмету; онъ доказалъ, что вѣтви засохшихъ деревьевъ производятъ въ этомъ отношеніи то же дѣйствіе, какъ и свѣжія деревья, что устраняетъ мысль о вліяніи на это явленіе собственной теплоты растеній. Явленія эти казались Фузиніери совершенно необъяснимыми. Меллони *) объяснилъ ихъ, замѣтивъ, что лучи испускаемые нагрѣтыми вѣтвями имѣютъ другія свойства, нежели непосредственные солнечные лучи, и легче сихъ послѣднихъ поглощаются снѣгомъ. Для подтвержденія этого объясненія посредствомъ опыта, Меллони покрылъ бѣлилами основаніе цѣпи термомультипликатора, и направилъ на это основаніе лучи лампы, собранные посредствомъ выпуклаго стекла, — отклоненіе было 15°. Вставивъ потомъ между источникомъ и цѣпью, совершенно близко къ послѣдней, толстый листъ бумаги темно-сѣраго цвѣта, онъ увеличилъ отклоненіе до 55°,5; слѣдовательно лучи мѣньшаго напряженія, испускаемые бумагою, производятъ болѣе значительное дѣйствіе чѣмъ непосредственные лучи лампы, что происходитъ отъ обладаемыхъ этими лучами различныхъ свойствъ, вслѣдствіе которыхъ первые лучи легче поглощаются. Теплородные лучи, вытекающіе изъ чернаго стекла, дали подобный же результатъ, отклоненіе

*) Annales de chimie et de physique, 3-e série, t. LXVIII.

было отъ 18° до 19° при употребленіи сѣрой бумаги, тогда-какъ безъ нея отклоненіе равнялось отъ 10° до 11°. Чтобы доказать, что снѣгъ подчиняется тѣмъ же условіямъ какъ и бѣлилы, Меллони употреблялъ термоэлектрическій приборъ, основанія котораго были снабжены трубками, и ставилъ его между Аргантовою лампою и мѣдною пластинкою, нагрѣтою до 400°, въ такомъ положеніи, чтобы на мультипликаторѣ вовсе не было отклоненія; послѣ этого онъ замѣнялъ термоэлектрическую цѣпь трубкою, совершенно одинаковаго размѣра съ наружной оболочкою цѣпи. Трубка эта была раздѣлена, перпендикулярною къ ея оси, перегородкою на двѣ равныя части и каждое изъ этихъ отдѣленій Меллони наполнилъ чистымъ снѣгомъ, занимавшимъ такимъ-образомъ столько же пространства, какъ и термоэлектрическая цѣпь; температура воздуха была—3°. Снѣгъ обращенный къ сторонѣ гдѣ находилась мѣдь, нагрѣтая до 400°, таялъ скорѣе чѣмъ снѣгъ находившійся на противоположной сторонѣ Наконецъ, взявъ сосудъ наполненный снѣгомъ, и разровнявъ совершенно его поверхность, Меллони подвергнулъ этотъ снѣгъ лучеиспусканію лампы, повѣсивъ предварительно передъ центральною частью поверхности кругъ изъ тонкой папки, покрытой съ обѣихъ сторонъ сажею Въ томъ мѣстѣ гдѣ находился кругъ, снѣгъ таялъ скорѣе нежели въ мѣстахъ, подверженныхъ непосредственному дѣйствію лампы. Но если лампу замѣнить мѣдною пластинкою въ 400°, то результатъ будетъ противоположный

113. О равенствѣ испускательной и поглощательной способностей при высокихъ температурахъ.—Мы видѣли, что изъ опытовъ, произведенныхъ при температурахъ достаточно низкихъ для того чтобы законъ Ньютона могъ быть принятъ за точный, выходитъ, что испускательная способность равняется поглощательной (57). То же было найдено Дюлонгомъ и Пти и для температуръ до 300°, при изслѣдованіяхъ сдѣланныхъ этими учеными относительно законовъ охлажденія (75) Сверхъ-того неизмѣняемость порядка, въ которомъ Меллони расположилъ тѣла относительно ихъ испускательной и ихъ поглощательной способностей, при источникѣ въ 100°, показываетъ, что во всѣхъ тѣлахъ, до этой температуры, способности эти равны между собою Но спрашивается, будетъ ли то же самое при температурахъ болѣе высокихъ?

Для устраненія всякаго сомнѣнія, надлежало сдѣлать наблюденіе надъ лучеиспускательною способностью при весьма высокихъ температурахъ, напр соотвѣтствующихъ температурѣ раскаленной платины.

Де-ла-Провоста и Дезенъ *) произвели опыты при этихъ условіяхъ. Лучеиспускающимъ тѣломъ служила пластинка изъ платины въ 18mm ширины и въ 75mm длины; пластинку эту можно было нагрѣвать отъ 100° до 600° посредствомъ гальваническаго тока, произведеннаго цѣпью Бунзена въ 30 паръ. Съ каждой стороны пластинки, покрытой съ обѣихъ сторонъ сажею, была поставлена термоэлектрическая цѣпь — цѣпи эти были совершенно одинаковы, и слѣдовательно, давали совершенно равныя отклоненія Потомъ сажу одной изъ сторонъ пластинки замѣняли слоемъ борнокислаго свинца и опять *одновременно* наблюдали лучеиспусканіе обѣихъ сторонъ. Отношеніе между произведенными дѣйствіями выражало отношеніе между испускательными способностями обоихъ веществъ. Допустивъ, что испускательная способность сажи не измѣняется съ температурою,— что вѣроятно, потому-что поглощательная способность сажи не зависитъ отъ свойства падающихъ лучей (111),— найдемъ, что испускательная способность борнокислаго свинца значительно уменьшается, когда его температуру доводятъ до начала краснаго каленія. При 100° испускательная способность борнокислаго свинца почти равняется способности сажи, а при 550° она только равняется 0,75; если же его вновь охладить до 100°, то его испускательная способность опять равняется прежней; это доказываетъ, что уменьшеніе ея не происходитъ вслѣдствіе измѣненія поверхности, произведеннаго теплотою.

Результатъ этотъ можно объяснить, предположивъ, что свойство лучей стремящихся наружу, измѣняется вмѣстѣ съ температурою. Но какъ бы то ни было, изъ этого все-таки слѣдуетъ заключить, что испускательная способность, равно какъ и поглощательная, не остаются неизмѣнными; а это заставляетъ насъ думать, что онѣ между собою также равны и при высокихъ температурахъ. Но вопросъ этотъ кажется еще не совершенно рѣшенъ. Такъ наприм. бѣлилы обладаютъ одинаковою испускательною способностью, какъ и сажа, но въ то же время вещество это отражаетъ, посредствомъ разбрасыванія, огромное количество теплоты, измѣняющееся съ свойствомъ источника и, слѣдовательно, уменьшающее на столько же поглощенное количество теплоты; слѣдовательно, для того чтобы испускательная способность бѣлилъ равнялась поглощательной, необходимо, чтобы первая уменьшалась съ возвышеніемъ температуры, какъ

*) Compte rendus des seances de l'Academie des sciences de l'Institut, t. XXXVIII.

это бываетъ съ борнокислымъ свинцомъ, ибо разбрасывающая способность увеличивается вмѣстѣ съ температурою (107); но это можетъ рѣшить одинъ только опытъ.

114. Однородность теплоты находящейся въ равновѣсіи внутри тѣлъ. Когда теплородъ проникъ въ тѣло и поддерживаетъ въ немъ постоянную температуру, то теплота уже не обнаруживаетъ болѣе никакихъ различій въ качествѣ. Различія эти проявляются только въ состояніи движенія теплорода внѣ тѣлъ и, вѣроятно суть ни что иное, какъ особенныя состоянія этого движенія. Теорія волненій объясняетъ это, принимая, что лучи различной теплоцвѣтности происходятъ отъ сотрясательныхъ движеній, возбужденныхъ въ эѳирѣ и имѣющихъ различныя скорости, подобно тому какъ различные звуки соотвѣтствуютъ сотрясеніямъ воздуха, совершающимся съ различною скоростью. Но когда теплота находится внутри тѣла въ статическомъ равновѣсіи, то она не обнаруживаетъ болѣе никакого различія въ явленіяхъ. Ламе (*Lame*) сравниваетъ это состояніе съ покоящимъ состояніемъ жидкости въ сосудѣ, только вытекая чрезъ какое-либо отверстіе жидкость обнаруживаетъ различныя свойства и скорости, измѣняющіяся съ давленіемъ и различающіяся даже при одномъ и томъ же давленіи въ разныхъ точкахъ струи.

115. О поляризаціи теплоты. Кромѣ найденныхъ нами, доныхъ-поръ, сходствъ между свойствами лучистаго теплорода и свойствами свѣта, существуютъ еще другія. Теплородъ, подобно свѣту, можетъ быть также *поляризованъ*, то-есть различныя стороны теплороднаго луча обнаруживаютъ различныя свойства. Напримѣръ, если мы себѣ представимъ теплородный лучъ вертикальнымъ, то свойства его со стороны обращенной къ сѣверу не будутъ тѣ же, что со стороны обращенной къ западу или востоку. Но здѣсь мы не будемъ входить въ подробное разсмотрѣніе этихъ новыхъ свойствъ; эту часть явленій удобнѣе отнести къ изученію подобныхъ же явленій представляемыхъ свѣтомъ. Только при такомъ совокупномъ разсмотрѣніи этихъ явленій, можно будетъ обсудить ихъ и изслѣдовать различіе между теплородомъ и свѣтомъ, равно и видѣть, до какой степени эти два рода явленій могутъ быть разсматриваемы какъ происходящія отъ одной и той же причины.

ГЛАВА III.

О теплопроводности тѣлъ.

§ 1. Теплопроводность твердыхъ тѣлъ.

I. Теплопроводность однородныхъ твердыхъ тѣлъ.

110. Мы уже говорили о томъ, что теплота можетъ также медленно распространяться въ тѣлахъ отъ частицы къ частицѣ и со скоростью весьма различною, зависящею отъ свойства тѣлъ. Существованіе такого распространенія теплорода можетъ быть доказано съ очевидностью посредствомъ множества опытовъ: теплота огня, заключеннаго въ печи, вскорѣ становится замѣтною снаружи; наружная поверхность сосуда, наполненнаго кипяткомъ, сильно нагрѣвается, желѣзная полоса, опущенная однимъ концомъ въ огонь, до того нагрѣвается, что становится горячимъ другой ея конецъ, несмотря на экранъ препятствующій лучеиспускающему источника съ этого конца полосы. Свойство это извѣстно подъ названіемъ *теплопроводности*. Не всѣ вещества въ одинаковой степени проводятъ теплоту; замѣчаніе это было сдѣлано уже древними, и уже Аристотель сдѣлалъ нѣсколько опытовъ, служившихъ для сравненія этой способности въ различныхъ тѣлахъ. Мы займемся прежде всего теплопроводностью твердыхъ тѣлъ, болѣе другихъ служившихъ предметомъ изслѣдованій ученыхъ. Разсмотримъ сначала какимъ-образомъ объясняютъ распространеніе теплоты внутри однороднаго тѣла.

117. Объясненіе теплопроводности. Возьмемъ тѣло, нагрѣваемое только въ одной какой-либо части. Нагрѣтыя частицы начинаютъ лучеиспускать теплоту во всѣ стороны и передаютъ ее болѣе холоднымъ, смежнымъ съ ними, частицамъ; эти послѣднія, нагрѣтыя поглощенною ими частью этой теплоты, лучеиспускаютъ теплоту къ слѣдующимъ за ними частицамъ, нагрѣвающимся въ свою очередь, итакъ далѣе отъ частицы къ частицѣ. Такого рода распространеніе теплоты есть слѣдствіе *частичнаго лучеиспусканія*, доказаннаго Лапласомъ и изложеннаго нами уже выше (47). Скорость, съ которою частица теряетъ свою теплоту для передачи ее близлежащимъ частицамъ, зависитъ отъ избытка температуры этой частицы надъ температурою послѣднихъ, а какъ избытокъ этотъ долженъ быть весьма незначительный между двумя частицами, лежащими весьма близ-

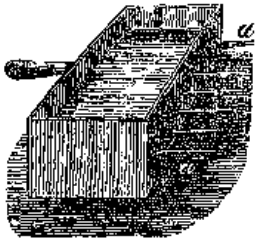
ко одна къ другой, то Ньютоновъ законъ можетъ быть примѣненъ здѣсь во всей строгости. Слѣдовательно, если T и t будутъ температуры двухъ смежныхъ частицъ M и m то частица m получитъ отъ M количество теплоты равное $n(T-t)$, гдѣ n постоянная, зависящая отъ разстоянія Mm и отъ свойства частицъ. Еслибы тѣло не было однородно, то разстояніе Mm измѣнялось бы съ направленіемъ линіи Mm, и количество теплоты проходящее въ различныхъ направленіяхъ не было бы одно и то же. Мы увидимъ далѣе, что опытъ подтверждаетъ этотъ выводъ теоріи.

118. Сравненіе теплопроводности твердыхъ тѣлъ. Передача теплоты отъ одной точки тѣла къ другой зависитъ, на основаніи предъидущаго, отъ плотности и массы тѣла и свойства его составныхъ частицъ. Теплопроводность, слѣдовательно, различна въ различныхъ тѣлахъ. Для сравненія теплопроводности твердыхъ веществъ, употребляютъ слѣдующій способъ, изобрѣтенный Ингенгузомъ (Ingenhus) и Франклиномъ

Изъ испытуемыхъ веществъ приготовляютъ цилиндрическія палочки одного и того же діаметра; палочки эти прикрѣпляютъ однимъ концомъ къ деревянной пластинкѣ и погружаютъ ихъ въ расплавленный воскъ, для того чтобы они покрылись тонкимъ слоемъ этого вещества. Послѣ этого концы палочекъ опускаютъ въ горячее масло, теплота, распространяясь въ веществѣ этихъ палочекъ, расплавляетъ по прошествіи нѣкотораго времени воскъ на всемъ протяженіи палочекъ, гдѣ температура достигнетъ по-крайней-мѣрѣ 55°. Протяженіе же это будетъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ теплопроводность палочки будетъ больше.

Такъ-какъ воздухъ разрѣженный отъ прикосновенія съ масломъ, поднимается и увлекаетъ часть теплоты къ верхней части цилиндровъ, то Гэ-Люссакъ расположилъ ихъ горизонтально, продѣвъ ихъ сквозь стѣнки металлическаго ящика (фиг. 56). Въ ящикъ этотъ вливаютъ кипятокъ, и по прошествіи нѣкотораго времени воскъ плавится на протяженіи соотвѣтствующемъ степени теплопроводности вещества. Маленькій этотъ снарядъ извѣстенъ подъ названіемъ прибора Ингенгуза.

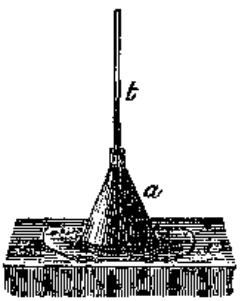
Фиг. 56.



Термометръ прикосновенія Изложенный нами способъ можетъ только служить для

тѣлъ, которымъ можно давать цилиндрическую форму, для такихъ же, съ которыми этого нельзя сдѣлать, какъ-то: для тканей и волокнистыхъ веществъ, употребляютъ термометръ прикосновенія Фурье (Fourier). Этотъ небольшой снарядъ состоитъ изъ термометра *t* (фиг 57), придѣланнаго къ горлышку коническаго сосуда *a*, снизу закрытаго тонкою перепонкою и наполненнаго ртутью. Пластинку, теплопроводность которой хотятъ подвергнуть испытанію, располагаютъ на подставкѣ, въ которой поддерживаютъ высокую постоянную температуру, напримѣръ на металлическомъ ящикѣ, чрезъ который постоянно пропускаютъ пары. Термометръ ставятъ на пластинку; теплота проходя сквозь пластинку сообщается ртути, а отъ нея термометру, который вскорѣ становится постояннымъ и теряетъ количество теплоты, пропорціональное избытку его температуры надъ температурою воздуха. Такъ-какъ термометръ тогда получаетъ столько же теплоты, сколько онъ теряетъ, то можно сказать, что количество теплоты, проходящее въ данное время сквозь находящуюся подъ термометромъ пластинку, также пропорціонально этому избытку. Слѣдовательно, производя этотъ опытъ надъ различными веществами одинаковой толщины и такихъ размѣровъ, чтобы они значительно выходили за предѣлы основанія сосуда, мы получимъ отношенія между теплопроводностями этихъ веществъ. Фурье производилъ этотъ опытъ сначала иначе: онъ нагрѣвалъ термометръ прикосновенія и ставилъ его на пластинку, помѣщенную на столѣ, въ которомъ поддерживаетъ температуру окружающаго воздуха, и измѣрялъ скорость охлажденія снаряда, которая зависѣла между прочимъ отъ теплоты отдаваемой имъ столу и долженствовавшей пройти сквозь испытываемую пластинку. Но способъ этотъ, требующій употребленія довольно сложной формулы, гораздо менѣе удобенъ, чѣмъ предъидущій.

Фиг. 57.

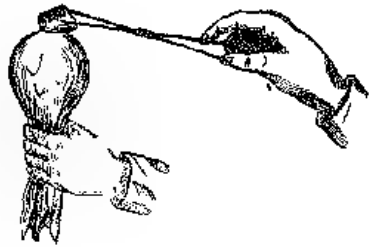


Посредствомъ этихъ различныхъ способовъ было доказано, что тѣла лучше другихъ проводящія теплоту суть тѣ, которыя имѣютъ вообще наибольшую плотность, слѣдовательно металлы; и что изъ нихъ самые плотные и трудноплавкіе, суть лучшіе проводники, наприм. золото и платина. Свинецъ и олово, весьма легкоплавкіе, составляютъ проводники менѣе хорошіе. За металлами слѣдуютъ каменистыя вещества, мраморъ, кирпичи. Стекло дурной проводникъ; по-

этому, безъ опасенія обжечь руку, можно держать стеклянную трубку весьма близко къ тому мѣсту гдѣ она плавится. Сѣра, смолы, также весьма дурные проводники; то же самое можно сказать о высушенномъ деревѣ, и здѣсь лучше проводитъ теплоту дерево болѣе плотное. Уголь, бывъ прокаленъ, довольно хорошо проводитъ теплоту, но въ противномъ случаѣ онъ дурной проводникъ Прядильныя вещества составляютъ также дурные проводники; они расположены въ слѣдующемъ порядкѣ: *шелкъ, шерсть, хлопчатая бумага, пенька*, изъ которыхъ шелкъ хуже другихъ проводитъ теплоту. Связь, существующую между теплопроводностью и плотностью, можно объяснить тѣмъ, что въ тѣлахъ наиболѣе плотныхъ, вообще бо́льшее число частицъ собрано на извѣстномъ пространствѣ и, слѣдовательно, находится больше матеріальныхъ точекъ, посредствомъ которыхъ теплота можетъ передаваться. Свойство частицъ имѣетъ впрочемъ также вліяніе на теплопроводность, потому-что нѣкоторые изъ металловъ, имѣющихъ бо́льшую плотность, составляютъ менѣе хорошіе проводники, нежели другіе металлы менѣе плотные, напр свинецъ менѣе хорошій проводникъ чѣмъ желѣзо и цинкъ, плотность которыхъ менѣе плотности свинца.

Большая теплопроводность металловъ можетъ быть доказана посредствомъ весьма простаго опыта: кусокъ полированнаго металла завертываютъ въ тонкое полотно (фиг. 58) такъ, чтобы полотно плотно прилегало къ металлу и сверху кладутъ раскаленный уголь, полотно при этомъ не загорится, хотя бы и стали раздувать уголь для произведенія бо́льшаго жара. Результатъ этотъ происходитъ отъ того, что теплота, получаемая полотномъ, тотчасъ же у него отнимается прикасающимся къ нему металломъ и быстро распространяется въ его массѣ; вслѣдствіе этого температура ткани не можетъ достаточно возвыситься для произведенія горѣнія и даже обугливанія полотна.

Фиг. 58.



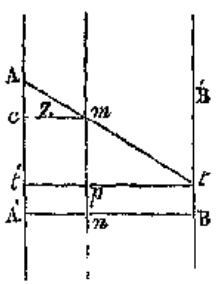
Отъ подобнаго же дѣйствія намъ кажутся металлы чрезвычайно холодными зимою, хотя они имѣютъ ту же температуру, какъ и другія тѣла, не производящія того же впечатлѣнія, какъ напр. дерево, ткани. Теплота, отнятая у руки, не остается въ точкѣ прико-

сповенія, но распространяется дальше, такъ-что тотчасъ же отнимается у руки новое количество теплоты Подобнымъ же образомъ нагрѣтый металлъ производитъ ощущеніе теплоты, котораго не производитъ дурной проводникъ, имѣющій ту же температуру. Болѣе или менѣе полированное состояніе поверхностей можетъ измѣнять эти впечатлѣнія, измѣняя число точекъ, находящихся въ прикосновеніи съ рукою.

Указанные нами способы не даютъ численныхъ отношеній для теплопроводности тѣлъ Пропорціональность избытковъ, показываемая термометромъ прикосновенія, не даетъ точныхъ отношеній, потому-что законъ Ньютона только приблизительно вѣренъ и что количество теплоты, въ частяхъ пластинки не покрытыхъ снарядомъ, имѣетъ вліяніе на теплоту, проникающую въ этотъ послѣдній. Для численнаго сравненія теплопроводности различныхъ веществъ, разсматриваютъ преимущественно два самые обыкновенные случая распространенія теплоты въ тѣлахъ, именно: прохожденіе теплоты чрезъ стѣну безконечной длины и высоты, когда притомъ въ обѣихъ поверхностяхъ стѣны поддерживается постоянная температура и распространеніе теплоты въ полосѣ нагрѣтой на одномъ концѣ.

119. Законъ распредѣленія температуръ въ стѣнѣ. — Предположимъ, что мы имѣемъ такую безконечную стѣну $AA'BB$, поверхности которой поддерживаются при постоянныхъ температурахъ a и b и пусть $a > b$. Положимъ, что сначала температура стѣны повсюду равняется b; теплота стороны A передается слѣдующему слою; этотъ въ свою очередь нагрѣваетъ слой за нимъ находящійся, итакъ далѣе до стороны BB', гдѣ теплота увлекается тою же самою причиною, которая препятствуетъ температурѣ b измѣняться. По прошествіи нѣкотораго времени, каждый слой будетъ имѣть постоянную температуру и тогда каждый изъ слоевъ получаетъ столько же теплоты, сколько она уступаетъ близлежащему слою, такъ-что количество теплоты, прошедшее въ данное время чрезъ каждый слой, будетъ одно и то же для всѣхъ слоевъ. Мы докажемъ, что условіе это выполняется въ томъ случаѣ, когда *температуры послѣдовательныхъ слоевъ составляютъ ариѳметическую прогрессію*

фиг. 59.



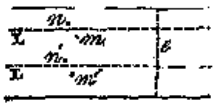
Представимъ чрезъ AA' и Bb фиг 59, температуры a и b Если мы соединимъ точки A и b прямою, то температура слоя mn выра-

зится, на основаніи вышеизложеннаго закона, чрезъ ординату nm (слѣдовательно температура эта будетъ $mn = AA' - Ac = a - Ac$; и сравнивъ подобные треугольники Acm и Att', найдемъ $Ac = At' \frac{cm}{tt'} = a - b) \frac{z}{e}$, гдѣ e выражаетъ толщину стѣны, а z разстояніе плоскости mn отъ болѣе нагрѣтой стороны AA'. Получимъ, слѣдовательно,

$$(\alpha) \qquad mn = a - (a - b) \frac{z}{e}.$$

Чтобы доказать, что количество теплоты, проходящее чрезъ слой, не зависитъ отъ его положенія, разсмотримъ двѣ плоскости L, L (фиг. 60) и двѣ пары частицъ, n, m и n', m', расположенныхъ весьма близко одна къ другой и симметрически по обѣ стороны каждой изъ названныхъ плоскостей. Пусть T, t и T', t' будутъ температуры этихъ частицъ и ξ разность величинъ z въ каждой парѣ. Вычитая одну изъ другой величины T и t, получаемыя изъ формулы (α) находятъ $T - t = \frac{a-b}{e} \xi$. Такимъ же образомъ получимъ $T' - t' = \frac{a-b}{e} \xi$. Слѣдовательно, $T - t = T' - t'$, формула выражающая, на основаніи Ньютонова закона, что количества теплоты, проходящія чрезъ слои L и L, между собою равны

фиг. 60.



Коэффиціентъ теплопроводности Предположимъ, что разсмотрѣнные нами два слоя принадлежатъ двумъ различнымъ стѣнамъ, состоящимъ изъ одного и того же вещества. Пусть e', a', b', означаютъ толщину другой стѣны и температуры ея поверхностей. Получимъ, $T - t = \frac{a-b}{e} \xi$ и $T' - t' = \frac{a'-b'}{e'} \xi$; и назвавъ чрезъ q и q' количества теплоты, проходящія въ единицу времени чрезъ каждый слой, получимъ $q : q' = T - t : T' - t' = \frac{a-b}{e} \cdot \frac{a'-b'}{e'}$. Предположимъ теперь, что $a' - b' = 1$ и $e' = 1$ и пусть въ этомъ случаѣ $q' = k$; тогда $q = k \frac{a-b}{e}$; изъ этой формулы можно вычислить q, когда постоянная k извѣстна. Постоянная эта, зависящая отъ свойства вещества, образующаго стѣну, составляетъ *коэффиціентъ теплопроводности*. Названіе это, слѣдовательно, означаетъ *количество теплоты, проходящее, въ единицу времени и чрезъ единицу поверхности, сквозь стѣну изъ твердаго вещества, толщина которой равняется единицѣ и когда*

разность между постоянными температурами обѣихъ сторонъ стѣны равняется 1°.

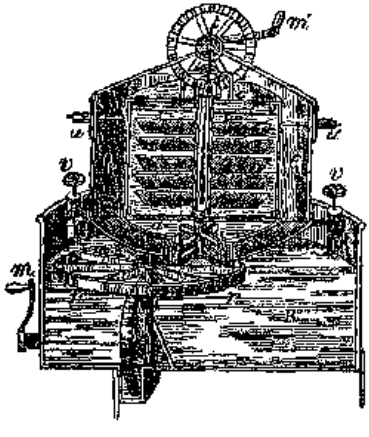
Коэффиціентъ наружной теплопроводности. Если мы предположимъ, что поверхность BB' стѣны не поддерживается болѣе при одной и той же температурѣ, то она приметъ наконецъ какую-нибудь постоянную температуру и будетъ тогда терять столько же теплоты, сколько она получитъ отъ предъидущаго слоя. Если мы назовемъ h это количество теплоты, которое единица поверхности теряетъ втеченіи одной минуты, то мы получимъ то, что Фурье называетъ *коэффиціентомъ наружной теплопроводности.* Количества этого не должно смѣшивать съ испускательною способностью, потому-что поверхность BB' равно теряетъ теплоту чрезъ прикосновеніе смежной средины и чрезъ лучеиспусканіе; количество это зависитъ также отъ скорости, съ которою теплота достигаетъ изнутри къ поверхности BB', т.-е. отъ внутренней теплопроводности вещества, составляющаго стѣну.

120. Повѣрительные опыты. — *Измѣреніе* k. — Формула $q = k\frac{a-b}{e}$ показываетъ, что количество теплоты, проходящее сквозь слой стѣны, прямо пропорціонально разности температуръ его поверхностей и обратно, пропорціонально толщинѣ слоя. Результаты эти были найдены посредствомъ приложенія Ньютонова закона къ частичному лучеиспусканію. Поэтому необходимо было ихъ повѣрить посредствомъ опыта, измѣривъ непосредственно количество теплоты, проходящее сквозь стѣну изъ твердаго вещества. Формула, однажды повѣренная, можетъ служить для вычисленія коэффицента k, выводя его изъ величины q, полученной изъ опыта. Весьма простой способъ, по теоріи, состоялъ бы въ томъ, чтобы изъ твердаго вещества образовать сферическій сосудъ, имѣющій повсюду стѣнки одинаковой толщины и въ то же время довольно незначительной, чтобы можно пренебречь разностью между величинами внутренней и внѣшней поверхности. Внутри сосудъ надобно поддерживать посредствомъ постояннаго притока паровъ при температурѣ 100°, а снаружи при температурѣ 0°, посредствомъ тающаго льда. Теплота проникая въ наружу, расплавитъ, въ единицу времени, нѣкоторое количество p окружающаго льда. Количество теплоты, которое пройдетъ сквозь стѣнки сосуда, слѣдовательно будетъ np, гдѣ n есть число выражающее количество теплоты необходимое для расплавленія единицы вѣса льда. Чрезъ единицу поверхности, такимъ-образомъ только пройдетъ ко-

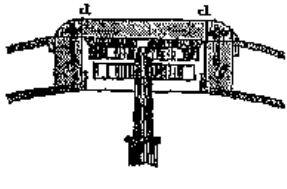
личество $\frac{np}{s}$, гдѣ s означаетъ поверхность сосуда. Такимъ-образомъ мы бы получили $q = \frac{np}{s} = k\,\frac{100}{r}$, откуда бы извлекли величину k.

Пеклѐ Peclet) произвелъ множество опытовъ по этому предмету *; онъ доказалъ во-первыхъ, что предъидущій способъ представляетъ на дѣлѣ большія затрудненія, по причинѣ слоя стоячей воды, прилегающаго къ поверхности нагрѣваемой паромъ, такъ, что температура этой поверхности не равняется температурѣ пара. Сверхъ-того слой этотъ составляетъ дурной проводникъ, вслѣдствіе чего, несмотря на незначительную толщину слоя, становятся незамѣтными измѣненія въ толщинѣ металлическихъ пластинокъ, сквозь которыя проходитъ теплота. Только посредствомъ сообщенія быстраго движенія жидкостямъ, омывающимъ обѣ стороны пластинки, можно было надѣяться получить точные результаты После многочисленныхъ опытовъ, сдѣланныхъ помощью различныхъ снарядовъ, Пеклѐ остановился на устройствѣ снаряда, представленнаго на фиг. 61-й два цилиндрическіе сосуда изъ бѣлой жести, помѣщаются одинъ въ другой и промежутокъ *oo* между ними наполняютъ чесаною хлопчатою бумагою,—веществомъ весьма трудно пропускающимъ теплоту Внутренній сосудъ, наполненный водою, поддерживается стеклянными стержнями *u*, *u*; сосудъ этотъ въ нижней части суженъ и закрывается испытуемою пластинкою. Способъ прикрѣпленія этой пластинки можно видѣть на фиг. 62-й, пластинка *P P* утверждена на незначительномъ разстояніи отъ нижняго края сосуда посредствомъ маленькихъ стержней, припаянныхъ къ ея окружности и входящихъ въ пробочное кольцо *oo*, отдѣляющее оба сосуда; промежутокъ, окружность пластинки и внутренняя сторона кольца покрываются замазкою

фиг. 61.



фиг. 62



* Annales de chimie et de physique, 3-me série, t. II

стекольщиковъ. По оси внутренняго сосуда (фиг. 61) расположена мѣдная трубка, вращающаяся около своей оси въ гайкахъ, поддерживаемыхъ перекладинами a, a, трубка эта приводится въ движеніе посредствомъ зубчатаго колеса m и шестерни прикрѣпленной къ его верхней части. Сверхъ-того трубка вооружена косвенно поставленными крыльями, предназначенными для сильнаго перемѣшиванія воды; въ нижней же части ея находятся тесьмы изъ волосяной ткани, обмотающія такъ-сказать поверхность пластинки для произведенія постояннаго возобновленія слоя воды покрывающаго эту поверхность. Термометръ t, укрѣпленный въ дугѣ c, придѣланной къ крышкѣ внутренняго сосуда, занимаетъ ось мѣдной трубки. Снарядъ этотъ, состоящій изъ обоихъ сосудовъ, утвержденъ посредствомъ винтовъ r, r надъ резервуаромъ воды R, и именно такимъ образомъ, чтобы пластинка погружалась отъ 1 до 2^{mm} въ жидкость. Горизонтальное колесо rr, приводимое въ движеніе помощью рукоятки m и зубчатаго колеса, постоянно вытираетъ посредствомъ своихъ спицъ, обтянутыхъ тесьмою, нижнюю часть пластинки. Посредствомъ этого способа можно возобновлять, до 1600 разъ въ минуту, жидкость прикасающуюся къ сторонамъ пластинки.

При первыхъ своихъ опытахъ Пекле пропускалъ, чрезъ трубку съ расширеннымъ отверстіемъ, струю водянаго пара къ нижней сторонѣ пластинки PP (фиг. 62), и когда температура воды, находящейся надъ пластинкою достигала 25°, измѣрялъ время необходимое для нагрѣванія этой воды на каждые слѣдующіе 5°. Если принять, что количества теплоты, проходящія чрезъ пластинку втеченіи весьма короткаго времени, пропорціональны разностямъ температуры обоихъ поверхностей, то возвышеніе температуры впродолженіи 1", при разности температуръ въ 1°, можетъ быть выражено формулою:

$$a = \frac{m}{t} (LogA - LogT),$$

въ которой A и T суть избытки температуры пара надъ температурою воды въ началѣ и въ концѣ времени t, и m модуль логариѳмическихъ таблицъ. Посредствомъ величинъ A и T вычисляютъ a, и если предположенный нами законъ справедливъ, то при наблюденіи другихъ избытковъ A и T, для a всегда будетъ получаться одна и та же величина, что и доказалъ Пекле посредствомъ опытовъ про-

изведенныхъ надъ пластинками изъ мѣди, свинца, цинка, олова, желѣза и чугуна.

Изъ ряда опытовъ, произведенныхъ надъ металлическими пластинками изъ одного и того же вещества, но различной толщины, оказалось, что величина a не зависитъ отъ этой толщины, это произошло отъ слоя воды пристававшаго къ пластинкѣ вслѣдствіе сгущенія пара. Тогда Пекле отказался отъ употребленія пара и замѣнилъ его водою резервуара R (фиг. 61), снабженнаго мѣшалкою $r\ r$. Если температура воды въ резервуарѣ $=25°$, а въ сосудѣ $=$ температурѣ воздуха, то времена, необходимыя для произведенія одного и того же возвышенія температуры въ сосудѣ, были 500" и 380" для пластинокъ изъ свинца толщиною въ 20^{mm} и 15^{mm}; а какъ $500:375=20:15$ то недостаетъ только 5", для того чтобы времена были пропорціональны толщинамъ. Слѣдовательно этимъ подтверждается законъ относительно толщины слоевъ.

Измѣреніе коэффиціента. Въ опытахъ произведенныхъ съ пластинкою изъ свинца толщиною въ 20^{mm}, температура резервуара R была $24°,04$, а полученные изъ наблюденія избытки $8°,91$ и $9°,55$; откуда получили $a=0,000294$. Еслибъ было извѣстно количество теплоты, поглощаемое водою внутренняго сосуда для подобнаго нагрѣванія, то мы бы получили количество теплоты, проведенное сквозь пластинку втеченіи 1". Чтобы вычислить это количество, необходимо избрать сначала единицу теплоты. За таковую единицу физики приняли *количество теплоты способное возвысить на 1° температуру 1 килограм. воды*. А какъ вѣсъ воды внутренняго сосуда равнялся $3^{k},287$, *) то для количества теплоты, проведенной сквозь свинцовую пластинку, втеченіи 1", получимъ $0,000294\times3,287$. Законъ относительно толщины слоевъ показываетъ, что количество это должно быть умножено на 20 для полученія количества, которое бы прошло сквозь пластинку толщиною въ 1^{mm}. Наконецъ, если мы раздѣлимъ результатъ на поверхность равнявшуюся при опытѣ $0^{m},005026$, квадрат. метр., получимъ количество, которое бы прошло чрезъ поверхность одного квадратнаго метра. Пекле такимъ-образомъ нашелъ, для изображенія коэффиціента теплопроводности свинца, число 3,82 единицъ теплоты.

*) Въ вѣсъ этотъ включенъ вѣсъ количества воды, поглощающей столько теплоты, сколько поглощаетъ металлическій сосудъ и твердыя части содержащіяся въ немъ. Мы впослѣдствіи увидимъ, такимъ-образомъ можетъ быть сдѣлана подобная замѣна.

121. Законъ распредѣленія температуръ въ брускѣ. Разсмотримъ призматическій брусокъ, въ одной изъ оконечностей котораго поддерживается постоянная температура. Первый поперечный слой, нагрѣтый непосредственно, получаетъ теплоту отъ предъидущаго слоя и, потерявъ часть этой теплоты чрезъ свою поверхность, передаетъ остальную часть слѣдующему слою, который въ свою очередь уступаетъ оставшуюся, за потерею внаружу, часть полученной теплоты близлежащему слою и такъ далѣе. Наконецъ, по прошествіи нѣкотораго времени, каждый изъ слоевъ будетъ получать отъ предъидущаго слоя такое количество теплоты, какое онъ теряетъ внаружу и чрезъ передачу слѣдующему слою и тогда температуры всѣхъ слоевъ сдѣлаются постоянными, а теплота проходящая чрезъ слой будетъ равняться той, которая теряется чрезъ лучеиспусканіе и прикосновеніе воздуха въ части бруска, находящейся за этимъ слоемъ. Съ перваго взгляда уже видно что съ удаленіемъ отъ нагрѣваемой оконечности, температуры становятся постепенно слабѣе; сверхъ-того на одномъ и томъ же разстояніи температура будетъ тѣмъ ниже, чѣмъ меньше будетъ сѣченіе бруска. И въ-самомъ-дѣлѣ, если мы возьмемъ бруски изъ одного и того же вещества и подобныхъ сѣченій, то периметръ чрезъ который теряется теплота измѣняется пропорціонально соотвѣтственнымъ размѣрамъ, а площадь сѣченія, чрезъ которую проходитъ теплота, измѣняется какъ квадраты этихъ размѣровъ. Потеря теплоты чрезъ окружность, слѣдовательно, относительно меньше при бо́льшей площади сѣченія Вотъ почему нельзя, безъ опасенія обжечь руку, прикасаться къ большому бруску желѣза, на довольно значительномъ разстояніи отъ раскаленной оконечности, тогда какъ тонкую проволоку можно держать даже въ рукѣ въ нѣсколькихъ сантиметрахъ разстоянія отъ до́-красна раскаленнаго конца.

Формула Фурье́ Задачу насъ занимающую, Фурье́ подвергнулъ вычисленію *). Предполагая сѣченіе бруска столь малымъ, что температуру можно было считать однообразною на всемъ пространствѣ сѣченія, Фурье́ доказываетъ, что избытокъ V температуры слоя, надъ температурою наружнаго воздуха, когда слой находится на разстояніи x отъ нагрѣтой оконечности, выражается уравненіемъ

$$V = Ae^{-x\sqrt{\frac{ph}{sk}}} + Be^{x\sqrt{\frac{ph}{sk}}},$$

*) Fourier theorie de la chaleur, p. 60

въ которомъ A и B постоянныя, k и h коэффиціенты внутренней и наружной теплопроводности, p периметръ и s площадь сѣченія бруска, а e основаніе Неперовыхъ логариѳмъ

Если мы предположимъ брусокъ безконечнымъ или по-крайней-мѣрѣ столь длиннымъ, что теплота источника не будетъ замѣтна на противоположной оконечности, то V будетъ равно нулю при $x=\infty$, что требуетъ, чтобы $B=o$. Въ этомъ случаѣ формула превратится въ

$$(a) \qquad V=Ae^{-x\sqrt{\frac{ph}{sk}}}=Ae^{-xr}, \text{ взявъ } r=\sqrt{\frac{ph}{sk}}$$

Сдѣлавъ $x=0$, получимъ $V=A$. Слѣдовательно, постоянная A выражаетъ избытокъ температуры источника надъ окружающимъ воздухомъ.

Слѣдствія. Для другаго бруска съ подобнымъ сѣченіемъ и подверженнаго дѣйствію того же источника, мы получимъ.

$$V'=Ae^{x\sqrt{\frac{p'h}{s'k}}}$$

Чтобы узнать разстоянія x, x', на которыхъ температуры обоихъ брусковъ будутъ однѣ и тѣ же, берутъ.

$$e^{-x\sqrt{\frac{ph}{sk}}}=e^{-x'\sqrt{\frac{p'h}{s'k}}}, \text{ откуда } -x\sqrt{\frac{ph}{sk}}=-x'\sqrt{\frac{p'h}{s'k}},$$

или $x^2ps'=x'^2p's$. Но какъ сѣченія подобны, то $p^2:p'^2=s:s$, слѣдовательно

$$x^2p'=x'^2p \text{ или } x^2:x'^2=p'\cdot p$$

Разстоянія отъ источника сѣченій, имѣющихъ одну и ту же температуру, находятся слѣдовательно между собою въ содержаніи квадратныхъ корней соотвѣтственныхъ размѣровъ.

Предположимъ еще два бруска одинаковыхъ размѣровъ, но изъ различныхъ веществъ, покрытые однимъ и тѣмъ же лакомъ для сообщенія имъ равной наружной теплопроводности, и подверженные на одномъ концѣ дѣйствію одной и той же температуры Разстоянія для слоевъ равной температуры получатся изъ уравненія

$$e^{-x\sqrt{\frac{ph}{sk}}} = e^{-x\sqrt{\frac{ph}{sk'}}}, \text{ откуда } x^2 : x'^2 = k : k'$$

Это показываетъ, что теплопроводности двухъ различныхъ веществъ содержатся между собою какъ квадраты разстояній отъ источника слоевъ, имѣющихъ одну и ту же температуру.

Формула a, показываетъ также что *избытки V температуры слоевъ убываютъ въ геометрической прогрессіи, когда разстоянія отъ источника возрастаютъ въ прогрессіи ариѳметической;* ибо, давая для x послѣдовательно величины d, $2d$, $3d$, $4d$. получимъ для V величины Ae^{-dr}, Ae^{-2dr}, Ae^{-3dr}, Ae^{-4dr} .., и взявъ отношеніе двухъ послѣдующихъ величинъ V, всегда найдемъ количество e^{-dr}.

Если мы возьмемъ для V три какія-либо послѣдовательныя величины V', V'', V''', то раздѣливъ сумму двухъ крайнихъ на среднюю, получимъ для величины $\frac{V'+V'''}{V''}$ постоянное количество $e^{dr}+e^{-dr}$. Законъ этотъ справедливъ также для бруска имѣющаго конечную длину.

122. Повѣрительные опыты.—Біо (Biot) повѣрилъ законъ убывающей прогрессіи избытковъ на брускахъ изъ желѣза и мѣди *). Выемки, сдѣланныя въ этихъ брускахъ на равномъ одна отъ другой разстояніи, были наполнены ртутью, въ которую погружались термометры; бруски были опущены однимъ концомъ въ расплавленный свинецъ.

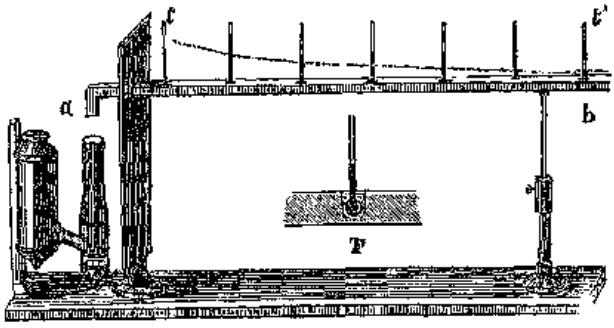
Депрé также сдѣлалъ весьма тщательную повѣрку этого закона, равно какъ и закона относительно величины $V'+V''':V''$, и опредѣлилъ изъ опыта отношенія теплопроводностей нѣкоторыхъ металловъ **). Фиг. 63-я представляетъ употребленный имъ при этомъ снарядъ. Брусокъ ab, покоющійся на подставкахъ изъ сухаго дерева, нагрѣвается, на концѣ a, посредствомъ пламени аргантовой лампы, снабженной непрозрачною трубою Экранъ защищаетъ брусокъ отъ лучеиспусканія источника. Термометры M', расположенные на равныхъ разстояніяхъ одинъ отъ другаго, погружены въ выемки наполненныя ртутью, какъ это можно видѣть въ T Бруски были покрыты однимъ и тѣмъ же лакомъ, для сообщенія имъ одинаковой наружной

---

* Bibliothèque britannique 1804.

** Annales de chimie et de physique, 2 série, t. XIX et XXXIII.

фиг. 63.



теплопроводности; сѣченіе ихъ было квадратное, со стороною въ 21^{mm} а разстояніе между термометрами равняло.ъ 10^{cm} Термометры эти, при веществахъ со слабою теплопроводностью, становятся постоянными только по прошествіи 5 или 6-ти часовъ Вычитая изъ показываемыхъ ими температуръ температуру окружающаго воздуха, можно повѣрить, составляютъ ли разности убывающую геометрическую прогрессію Законъ этотъ, найденный сперва Ламберомъ (Lambert), подтвердился на опытѣ для металловъ одаренныхъ хорошею теплопроводностью Въ свинцѣ, который менѣе хорошо проводитъ теплоту, уже замѣчаютъ примѣтное несогласіе; такъ напр отношеніе между избытками температуръ первыхъ двухъ термометровъ было 2,72, тогда какъ слѣдующее отношеніе только дало число 2,64. Вещества, составляющія дурные проводники теплоты,—какъ-то: мраморъ, кирпичная глина—уже значительно удаляются отъ закона. Несогласія эти легко объясняются тѣмъ, что въ теоріи температура принимается совершенно равная на всѣмъ пространствѣ сѣченія (121), что однакожь не можетъ имѣть мѣста при слабой теплопроводности, такъ-какъ въ этомъ случаѣ температура наружной поверхности каждаго слоя должна быть гораздо ниже температуры внутреннихъ частицъ. Кромѣ-того, потеря теплоты посредствомъ лучеиспусканія не въ точности слѣдуетъ закону Ньютона во всѣхъ слояхъ, потому-что температура перваго слоя 40° и 50° превосходила температуру окружающаго воздуха.

Сравненіе теплопроводностей. Для сравненія теплопроводностей было бы достаточно найти, на какихъ разстояніяхъ отъ источника равны между собою температуры двухъ брусковъ одинаковыхъ размѣровъ, тогда коэффиціенты брусковъ должны быть обратно пропорціональны квадратамъ этихъ разстояній (121), но въ дѣйствитель-

ности трудно отъискать сѣченіе, имѣющее данную температуру, развѣ сѣченіе это случайно совпадетъ съ выемкою, наполненною ртутью. Можно употребить другой способъ: пусть d и d' разстоянія между термометрами на двухъ брускахъ, одинаковыхъ размѣровъ и имѣющихъ одну и ту же наружную теплопроводность h. Отношеніе прогрессіи будетъ $R = e^{rd} = e^{d\sqrt{\frac{ph}{sk}}}$ для первой полосы и $R' = e^{r'd'} = e^{d'\sqrt{\frac{ph}{sk'}}}$ — для второй. Взявъ логариѳмы и раздѣливъ почленно оба равенства одно на другое, получимъ

$$\frac{k}{k'} = \frac{a^2}{d^2}\left(\frac{logR'}{logR}\right)^2;$$

формула, выражающая отношеніе коэффиціентовъ теплопроводности k и k'. Въ первомъ столбцѣ нижеслѣдующей таблицы показаны отношенія, найденныя Депре принимая коэффиціентъ золота за 1000. Второй столбецъ содержитъ числа, вычисленныя Пекле, который принялъ въ основаніе своихъ вычисленій число 3,82, найденное имъ для коэффиціента абсолютной теплопроводности свинца (120 :

Золото	1000	21,28	Олово	303,9	6,46
Платина	981	20,95	Свинецъ	179,5	3,82
Серебро	973	20,71	Мраморъ	23,6	0,48
Мѣдь	898,2	19,11	Фарфоръ	12,2	0,24
Желѣзо	374,3	7 95	Обожженная ночная гнилость	1 1 4	0,23
Цинкъ	363 0	7,74			

Результаты эти были подтверждены посредствомъ опытовъ, произведенныхъ Форбесомъ (Forbes), за исключеніемъ результата относительно платины Изъ таблицы этой видно, что между наиболѣе употребительными металлами лучшій проводникъ есть мѣдь, а худшій свинецъ. Относительно обожженной глины, мрамора и фарфора результаты менѣе положительны, потому-что законъ убывающей температуры уже не подтверждается съ тою же точностью Депре сравнилъ еще теплопроводности *желѣза, чугуна, бѣлаго мрамора, литографскаго камня вполнѣ сухаго* и *сосноваго дерева* *. Средняя

* Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences de l'Institut, t XXXV p. 540.

отношеніе геометрической прогрессіи для различныхъ этихъ веществъ было: 2,004, 2,017, 2,133, 2,10, 2,302, 2,19.

Къ результатамъ этимъ мы присовокупимъ еще найденные Віолеттомъ (Violette) относительно угля изъ крупицы. Онъ нашелъ, что температура, при которой полученъ уголь, имѣетъ вліяніе на его теплопроводность, что можно сблизить съ помянутымъ уже выше результатомъ, что уголь прокаленный становится болѣе хорошимъ проводникомъ. Такимъ-образомъ, если теплопроводность желѣза выразить чрезъ 100, то проводность угля, полученнаго при 200°, будетъ 59.5 и 66,3 когда уголь полученъ при 1500°. Коксъ или искусственный графитъ находимый въ ретортахъ, служащихъ для добыванія свѣтильнаго газа, даетъ число 84,7, результатъ мало отличающійся отъ теплопроводности желѣза и превосходящій теплопроводности соотвѣтствующія олову и свинцу. Для полученія этихъ чиселъ, Віолеттъ давалъ испытуемому веществу цилиндрическую форму *c* (фиг. 64) и въ углубленіи, сдѣланномъ въ одномъ изъ концовъ этого цилиндра, помѣщалъ плотно притертый термометръ *t*. Другой конецъ погружался въ ртуть *m*, нагрѣваемую паромъ, пропускаемымъ чрезъ трубу *T*. Вышепоказанныя числа представляютъ постоянныя температуры, принимаемыя термометромъ по прошествіи нѣкотораго времени. Способъ этотъ, какъ замѣчаетъ Віолеттъ, не совершенно точенъ, ибо онъ даетъ одинаковые результаты для мѣди и для желѣза, имѣющихъ, однако, совершенно различныя теплопроводности, но онъ былъ единственно возможный по незначительности величины кусковъ угля, которые можно было подвергнуть изслѣдованію.

Фиг. 64.

123. Поверка общей формулы. — Формула $V = Ae^{-x} + Be^{x}$ была повѣрена только для случая гдѣ длина бруска была столь велика что дѣйствіе источника не достигало до другаго его конца. Гуль (Goulier) повѣрилъ формулу для общаго случая *); онъ доказалъ изъ опыта, 1) что съ измѣненіемъ длины бруска B уменьшается, приблизительно, какъ члены геометрической прогрессіи, когда длина увеличивается въ прогрессіи ариѳметической; 2) что съ измѣненіемъ температуры источника при постоянной длинѣ бруска, B измѣняется пропорціонально избытку этой температуры надъ температурою окружающаго воздуха. Количество B, слѣдовательно, можно выразить

*) Comptes rendus, t. XXXV p. 699.

чрезъ kTm^l, гдѣ T избытокъ температуры источника надъ температурою окружающаго воздуха, l длина бруска, а k и m постоянныя, зависящія отъ вещества бруска и его сѣченія. Такъ какъ необходимо, что $A=T-B$, когда $x=o$, то формула будетъ

$$V=kTm^le^{rx}+(T-kTm^l)\,e^{-rx}=kTm^l(e^{rx}-e^{-rx})+Te^{-rx}.$$

Мы видимъ, что длина имѣетъ вліяніе на законъ постоянныхъ температуръ и что при $l=\infty$ формула превратится въ $V=T^{-rx}$, потому-что m становится нулемъ, ибо m необходимо меньше единицы. Для повѣрки измѣренной такимъ-образомъ формулы, Гулье избралъ желѣзный брусокъ, квадратное сѣченіе котораго равнялось 43 кв. mm. Термометры, погруженные въ выемки наполненныя ртутью, отстояли одинъ отъ другаго на 20^{mm}. Величины постоянныхъ были $k=0,409$ и $m=0,24$; кромѣ-того имѣли $e^r=2,24$, $e^{-r}=0,45$. Измѣняя попеременно или одновременно l, x и T, всегда получали изъ опыта результаты удовлетворительнымъ образомъ согласные съ результатами формулы. Опыты были преимущественно сдѣланы надъ шестью брусками отъ 1^{mm} до 5^{mm} длины.

II. О теплопроводности въ неоднородныхъ твердыхъ тѣлахъ.

124. О переходѣ теплоты изъ одного тѣла въ другое. Когда теплота сообщается отъ одного тѣла другому, находящемуся съ нимъ въ соприкосновеніи, то въ первомъ слоѣ тѣла, получающаго теплоту, замѣчается внезапное пониженіе температуры относительно той, которую имѣетъ послѣдній слой тѣла, уступающаго теплоту. Дешрѐ повѣрилъ это на двухъ брускахъ, мѣдномъ и оловянномъ, расположенныхъ на продолженіи одинъ къ другому и которыхъ плоскости прикосновенія были совершенно равны и плотно прижаты другъ къ другу *). Разность температуръ обоихъ плоскостей прикосновенія равнялась 1°, 47; разность эта становилась 5°, 5, когда между плоскостями былъ помѣщенъ листъ тонкой бумаги. Такъ-какъ не было возможности измѣрить непосредственно температуру плоскости прикосновенія, то температуру эту выводили, помощью формулы найденной Пуассономъ, изъ температуры, которую показывалъ ближайшій къ этой плоскости термометръ. Дешрѐ заключилъ изъ этихъ опытовъ, что теплота испытываетъ нѣкоторое сопротив-

*) Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences, t. XI.

леніе при переходѣ изъ одного тѣла въ другое. Сопротивленіе это обнаруживается также, когда прекращается связь въ составныхъ частицахъ вещества, часть теплорода, долженствующаго въ этомъ случаѣ передаваться посредствомъ лучеиспусканія испытываетъ отраженіе, чрезъ что уменьшается переданное количество теплоты. Вотъ почему вещества, состоящія изъ разнородныхъ слоевъ вообще дурно проводятъ теплоту Воздухъ наполняющій промежутки между этими слоями не увеличиваетъ теплопроводности, ибо онъ принадлежитъ, какъ мы увидимъ, къ весьма дурнымъ проводникамъ теплорода.

125. Теплопроводность дерева — Де-ла-Ривъ и Декандоль (de la Rive, Decandolle изслѣдовали теплопроводность дерева по направленію волоконъ и въ поперечномъ къ нимъ направленіи *); они употребляли деревянные бруски прямоугольнаго сѣченія, одна изъ оконечностей которыхъ была обвита полосою изъ бѣлой жести, нагрѣваемой пламенемъ спиртовой лампы. Они нашли такимъ-образомъ, что дерево гораздо хуже проводитъ теплоту въ перпендикулярномъ направленіи къ волокнамъ нежели по направленію волоконъ, что на основаніи вышеизложеннаго весьма понятно, ибо, въ перпендикулярномъ направленіи къ волокнамъ слои попеременно обнаруживаютъ различныя плотности. Отношеніе теплопроводности обоихъ направленій, составляетъ для дуба 5 : 3, мягкое дерево обнаруживаетъ бо́льшую разность, нежели твердое Относительно способности теплопроводности, порядокъ расположенія деревъ различнаго рода есть слѣдующій: *черемха, орѣховое дерево, дубъ, ель, тополь, пробковое дерево.* Опыты въ перпендикулярномъ направленіи къ волокнамъ были произведены только надъ дубомъ, орѣховымъ деревомъ и елью.

126. Теплопроводность кристалловъ. Приведенные нами опыты заставляютъ насъ предполагать, что въ несимметрическихъ кристаллахъ, плотность и упругость которыхъ различны, способность теплопроводности должна быть различна въ различныхъ направленіяхъ. Обстоятельство это дѣйствительно имѣетъ мѣсто; но чтобы убѣдиться въ этомъ посредствомъ опыта, надобно прибѣгать къ особеннымъ пріемамъ, такъ какъ кристаллы чаще всего имѣютъ весьма малую величину. Сенармонъ (Senarmont), разрѣшилъ эту задачу посредствомъ весьма остроумно придуманнаго способа, позволившаго ему производить опыты надъ весьма малыми кусками **). Онъ употреб-

*) Annales de chimie et de physique, 2 série, t. XL.

**) Annales de chimie et de physique, 3 série, t. XXI et XXII.

ляетъ тонкія, полированныя пластинки, или просто отколотыя по направленію слоевъ кристалла или полученныя посредствомъ какого-либо другаго механическаго способа и которыхъ направленіе, относительно осей кристалла, опредѣлено съ точностью По срединѣ пластинки дѣлается маленькое, нѣсколько коническое отверстіе, въ которое пропускаютъ конецъ довольно длинной, толстой серебряной проволоки. Проволока эта, нагрѣваемая на другомъ концѣ спиртовою лампою, сообщаетъ теплоту серединѣ пластинки. Пластинка, защищенная экраномъ, покрывается тонкимъ слоемъ воска и располагается горизонтально; отъ дѣйствія теплоты воскъ плавится, образуя, въ томъ мѣстѣ гдѣ прекращается плавленіе, родъ маленькой жидкой возвышенности ограниченной *изотермическою линіею* т.-е. линіею имѣющей повсюду одинаковую температуру, а именно: температуру плавленія воска Линія эта обозначается тѣмъ рѣзче чѣмъ слабѣе теплопроводность пластинки. Возвышенность эта еще довольно примѣтна и тогда, когда пластинка уже остынетъ, и такимъ-образомъ получается возможность измѣрить различные діаметры этой возвышенности Источникомъ теплоты Сенармонъ бралъ еще серебряную трубку, продѣтую сквозь пластинку, — чрезъ трубку пропускали горячій воздухъ. Онъ также собиралъ солнечные лучи посредствомъ зажигательнаго стекла, направляя ихъ въ то мѣсто, которое должно было подвергнуть нагрѣванію. Всего же чаще Сенармонъ употреблялъ первый описанный нами способъ, предпочтительный потому, что при немъ коническое отверстіе можетъ имѣть весьма малый діаметръ, напримѣръ 0^{mm}, 25 и что круговая форма очертанія отверстія, сквозь которое проводится теплота въ пластинку, имѣетъ вліяніе на форму изотермической кривой, когда эта послѣдняя не составляетъ круга. Впрочемъ, въ избѣжаніе погрѣшностей могущихъ произойти отъ формы отверстія, или же серебряной проволоки, слѣдуетъ во время плавленія воска, вращать пластинку въ ее собственной плоскости; въ избѣжаніе же погрѣшностей происходящихъ отъ случайныхъ неправильностей въ расположеніи составныхъ частицъ пластинки, надлежитъ производить опыты надъ нѣсколькими пластинками изъ одного и того же вещества

127. Законы передачи теплоты въ кристаллахъ. Такимъ-образомъ предварительно было доказано: 1-е, что форма очертанія пластинки не имѣетъ никакого вліянія на форму кривой образуемой расплавленнымъ воскомъ когда впрочемъ плавленіе это не слишкомъ

приближается къ краямъ пластинки; 2-е, что въ веществахъ однородныхъ кривая эта всегда имѣетъ видъ круга; откуда должно заключить, что если провести теплоту въ точку взятую посрединѣ массы однороднаго тѣла, то *изотермическія поверхности* будутъ образовать шарообразныя поверхности, центръ которыхъ будетъ находиться въ этой точкѣ.

Для кристалловъ были получены слѣдующіе результаты:

1-е. Кристаллы, принадлежащіе къ первой кристаллической системѣ, т.-е. тѣ въ которыхъ частицы симметрически расположены относительно одной точки, содержатся какъ однородныя вещества, т.-е. *изотермическія ихъ поверхности* суть сферическія, ибо изотермическія линіи всегда образуютъ круги въ какомъ бы направленіи пластинки не были вырѣзаны изъ кристалловъ. Опыты производились надъ слѣдующими веществами: *плавиковымъ шпатомъ, закисью желѣза, закисью мѣди, свинцовымъ блескомъ, цинковою обманкою.*

2-е. Кристаллы второй и третьей кристаллической системы, которыхъ частицы симметрически расположенныя вокругъ одной оси, даютъ кругообразныя изотермы для пластинокъ перпендикулярныхъ къ оси симметріи, и эллиптическія, когда пластинки взяты въ другомъ какомъ-либо направленіи; въ послѣднемъ случаѣ разность между наибольшимъ и наименьшимъ діаметрами эллипса бываетъ самая значительная, когда пластинка взята параллельно оси. Отсюда слѣдуетъ, что изотермическія поверхности имѣютъ форму эллипсоидовъ вращенія около оси. Эллипсоиды эти чаще всего бываютъ продолговаты по направленію оси, какъ въ *кварцѣ, исландскомъ шпатѣ* и пр.; иногда же они бываютъ сплющены въ этомъ направленіи, какъ въ *идокразѣ, окиси желѣза.* Опыту были подвержены: *окись олова, рутилъ, идокразъ, хлористая ртуть, исландскій шпатъ, кварцъ, бериллъ, желѣзный блескъ, корундъ.*

3-е. Въ четвертой кристаллической системѣ, отличительные признаки которой составляютъ три оси различной величины, перпендикулярныя между собою,—изотермическія поверхности суть эллипсоиды съ тремя различными осями, параллельными тремъ кристаллографическимъ осямъ. Тутъ, слѣдовательно, имѣются три направленія, въ которыхъ теплопроводность бываетъ наибольшая, средняя и наименьшая. Для опытовъ были взяты: *сѣрнокислый баритъ, топазъ, арагонитъ, бурнонитъ, сѣрнистая сурьма, стауротидъ, пинитъ.*

4-е. Въ пятой кристаллической системѣ, въ которой одна изъ осей перпендикулярна къ плоскости двухъ другихъ осей, наклонныхъ меж-

ду собою, изотермическія поверхности также составляютъ эллипсоиды съ тремя неравными осями, изъ которыхъ одна параллельна оси симметріи кристалла. Положеніе же двухъ другихъ не можетъ быть опредѣлено *a priori*. Изотермическія поверхности въ этомъ случаѣ также составляютъ эллипсоиды съ тремя осями, но только для одной изъ нихъ направленіе можетъ быть опредѣлено заранѣе. Испытаны были *глауберитъ полевой шпатъ, адуляръ, пироксенъ, авгитъ, вольфрамъ, гипсъ*.

5-е. Наконецъ для кристалловъ шестой кристаллической системы, въ которой всѣ три оси различной величины и между собою наклонны, Сенармонъ принимаетъ, по аналогіи, что изотермическія поверхности составляютъ эллипсоиды съ тремя различными осями, положеніе которыхъ не можетъ быть опредѣлено заранѣе. Трудность полученія хорошихъ образчиковъ, не дозволила произвести послѣдовательныхъ опытовъ надъ кристаллами принадлежащими къ этой системѣ

Вліяніе, которое имѣетъ правильное расположеніе частицъ кристалла на передачу теплоты, можно видѣть уже изъ того, что кристаллы не совсѣмъ чистые даютъ почти круговыя кривыя для пластинокъ, показывающихъ эллипсы, когда кристаллы чисты Идокразъ между прочимъ замѣтнымъ образомъ обнаруживалъ такое вліяніе веществъ, неправильно подмѣшанныхъ къ его массѣ.

Аналогія между этими явленіями и явленіями свѣта. Свѣтъ, при прохожденіи сквозь кристаллы, производитъ нѣкоторыя явленія, показывающія, что онъ распространяется съ большею или мѣньшею скоростью въ извѣстныхъ направленіяхъ, которыя для первыхъ четырехъ кристаллическихъ системъ суть тѣ же, что и для теплоты, какимъ бы образомъ ни были окрашены лучи свѣта Относительно пятой системы оба направленія, которыя не могутъ быть опредѣлены заранѣе, различны какъ для теплоты и для свѣта; но въ то же время они различны и для лучей различнаго цвѣта. Наконецъ для шестой системы, распространеніе теплоты и свѣта даетъ три главныя величины по тремъ направленіямъ, различнымъ для теплоты и для свѣта и для лучей различныхъ цвѣтовъ.

128. Дюгамель Duhamel, приложилъ математическое вычисленіе къ распредѣленію теплоты въ неоднородной срединѣ, такой какъ кристаллы, онъ нашелъ, во-1-хъ, что изотермическія поверхности составляютъ подобные эллипсоиды, оси которыхъ направлены по направленіямъ главныхъ осей теплопроводности, и пропорціональны квад-

ратнымъ корнямъ главныхъ теплопроводностей; во-2-хъ, что изотермическія кривыя, на безконечно большой пластинкѣ, образуютъ подобные эллипсы, равняющіеся сѣченіямъ изотермическихъ эллипсоидовъ съ плоскостію, имѣющею одинаковое направленіе съ пластинкою но только температуры эллипса и соотвѣтствующаго ему сѣченія изотермической поверхности не будутъ однѣ и тѣ же, но причинѣ вліянія внѣшней теплопроводности на пластинку Мы видимъ изъ этого, что результаты вычисленій самымъ совершеннымъ образомъ подтверждаютъ выводы, которые Сенармонъ сдѣлалъ изъ опыта.

129. О теплопроводности въ тѣлахъ сжатыхъ, и т. д. — Сенармонъ нашелъ, что если сжать однородную пластинку съ боковъ, то изотермическія кривыя принимаютъ, вмѣсто круга, видъ эллипса, короткая ось котораго идетъ по тому направленію въ которомъ была сжата пластинка, какъ-будто бы круговая линія была сплюснута дѣйствіемъ произведеннымъ на пластинку *). Результаты эти были доказаны на пластинкахъ изъ зеркальнаго стекла, флинтъ-гласа, фарфора, около 8mm толщиною, сжатыхъ въ параллельныхъ тискахъ. Между испытуемыми веществами и тисками былъ расположенъ тонкій слой свинца, для предохраненія пластинокъ отъ перелома; для нагрѣванія же пластинокъ употребляли толстую серебряную проволоку, вдѣтую въ отверстіе сдѣланное посрединѣ пластинки, покрытой воскомъ.

Пластинка изъ горнаго кристалла, параллельная оси симметріи, дастъ, разумѣется, изотермическія кривыя эллиптическія (127). Но сжимая эту пластинку по направленію короткой оси, получаютъ кривую еще болѣе продолговатую; но если пластинку сжимаютъ по направленію длинной оси, и, слѣдовательно, по направленію оси кристалла то кривая становится менѣе продолговатою, чѣмъ она была до сжатія.

Чтобы видѣть вліяніе, какое производитъ растягиваніе тѣла только въ одномъ направленіи, Сенармонъ согнулъ дугообразно пластинку изъ стекла, растянувъ такимъ-образомъ только ее выпуклую поверхность, и сообщилъ теплоту только ближайшимъ къ этой поверхности слоямъ, воткнувъ серебряную проволоку въ углубленіе, доходившее только слоя, въ которомъ не обнаруживалось ни сжатія, ни расширенія. Расплавленный на выпуклой поверхности воскъ обо-

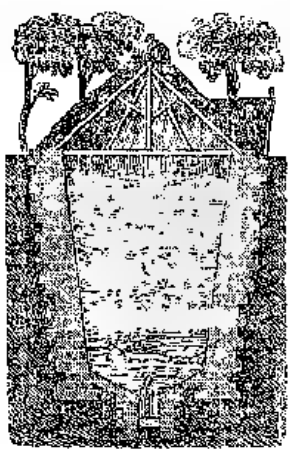
*) Annales de chimie et de physique, 3 série, t. XXIII

значалъ кривую, нѣсколько продолговатую въ томъ направленіи, въ которомъ была растянута пластинка. Кривыя, впрочемъ, были неправильны и результаты не вполнѣ рѣзко обозначались; тѣмъ не менѣе результаты эти были убѣдительны, по причинѣ ихъ согласія съ тѣми, которые наблюдаются при сжатіи

Такъ-какъ закалка измѣняетъ плотность стекла, то Сенармонъ дѣлалъ опыты съ пластинками, различнымъ частямъ которыхъ онъ давалъ различную закалку, накладывая холодныя металлическія пластинки на разгоряченную пластинку изъ стекла; но опыты эти не дали рѣшительныхъ результатовъ Болѣе всего еще была примѣтна очевидная неправильность въ очертаніи кривыхъ, обозначенныхъ расплавленнымъ воскомъ Изъ оптики также извѣстно, что сжатіе, сгибаніе и закалка имѣютъ замѣтное вліяніе на прохожденіе свѣта сквозь прозрачныя средины.

130 Приложенія — Весьма часто приходится дѣлать примѣненія, основанныя на различной теплопроводности тѣлъ. Печи, предназначаемыя для быстраго распространенія теплоты въ комнатѣ, должны быть устроены изъ металла и состоятъ изъ большаго числа металлическихъ трубъ, способствующихъ проникаию теплоты изнутри наружу Часто, напротивъ, пользуются слабою теплопроводностью нѣкоторыхъ веществъ для того, чтобы препятствовать проникаию или потерѣ теплоты. Такимъ-образомъ, напримѣръ дѣлаютъ деревянныя ручки у посуды или у нѣкоторыхъ орудій, которыя приходится подвергать сильному нагрѣванію. Когда приходится поднять горячее тѣло, то между нимъ и рукою помѣщаютъ тѣла дурной теплопроводности трубы, служащія для проведенія пара горячей воды, нагрѣтаго воздуха, обматываютъ толстыми тканями.

Фиг 65

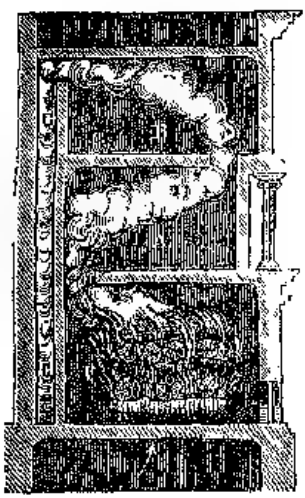


Ледники, гдѣ нагруженный ледъ зимою должно сохранять до конца лѣта, устраиваютъ такимъ-образомъ, чтобы въ нихъ не могла проникать наружная теплота; они обыкновенно состоятъ изъ глубокой ямы *C* (фиг 65) одѣтой стѣною, преимущественно изъ кирпичей, потому-что они хуже проводятъ теплоту, нежели камень. На днѣ ямы находится рѣшетка *o*, на которую кладется ледъ, наполняющій яму. Вода, образующаяся отъ таянія нѣкоторой части льда, стекаетъ въ сточную

яму, изъ которой воду эту отъ времени до времени вычерпываютъ. Крыша покрытая толстымъ слоемъ соломы, препятствуетъ проникаванье наружной теплоты. Часто еще сажаютъ вокругъ ледника деревья, листья которыхъ преграждаютъ проникаванье солнечныхъ лучей. Ледникъ наполняютъ льдомъ въ сильный морозъ и тотчасъ же заливаютъ ледъ водою, которая, замерзая, соединяетъ куски льда въ одну сплошную массу, что устраняетъ кругообращеніе воздуха въ ледникѣ. Сверхъ льда кладется солома, а на нее доски, которыя придавливаютъ камнями.

Изъ Соединенныхъ Штатовъ ледъ, собранный зимою, вывозится на судахъ въ другія страны на значительныя разстоянія; суда нагружаютъ кусками, отъ 100 до 120 килограммовъ, предохраняемыми отъ дѣйствія наружной теплоты посредствомъ древесныхъ опилокъ и стружекъ, которыми наполняютъ промежутки между льдомъ и корпусомъ судна, а также и промежутки между кусками льда. Въ 1851 году было вывезено изъ одного Бостона 55,000 тоннъ льда которыя потребовали на 70,000 фр опилокъ, не имѣвшихъ дотолѣ никакой стоимости. Ледъ этотъ перевозится въ Гавану, Индію, Китай... Такъ-какъ вывозъ производится во всякое время года, то на мѣстѣ добыванія и на мѣстѣ выгрузки ледъ складывается въ ледники огромныхъ размѣровъ, устроенные надъ почвою, иногда изъ кирпичей, и въ этомъ случаѣ ледъ отдѣляется отъ стѣнъ посредствомъ древесныхъ опилокъ, иногда же изъ тёса, покрытаго толстымъ слоемъ соломы. Въ Бостонѣ имѣются ледники, вмѣщающіе до 140,000 тоннъ льда. Несмотря на всѣ эти предосторожности, значительная часть льда растаиваетъ на дорогѣ, въ-особенности при перевозкѣ на дальнія разстоянія; разсчитываютъ, что изъ всего количества, отправленнаго въ Калькутту, только пятая часть достигаетъ до мѣста.

фиг. 66.



Въ сѣверныхъ странахъ, для поддержанія въ комнатахъ надлежащей температуры, устраиваются изъ кирпича высокія печи (фиг. 66), которыя топятся только разъ въ день, впродолженіи одного или двухъ часовъ. Масса этихъ печей согрѣвается теплотою горна и

кругообращеніемъ дыма, проходящаго чрезъ нѣсколько отдѣленій *A* и *B*, дымъ спускается по трубѣ *ee* и вновь поднимается по другой трубѣ, параллельной съ первою. Когда дрова превратятся въ уголь, то закрываютъ всѣ отверстія, а теплота, продолжая проникать въ массу печи, лучеиспускается втеченіи дня повемногу ея поверхностью, покрытою фаянсовыми изразцами, такъ-что теплота, теряющаяся чрезъ стѣны комнаты, постоянно замѣщается количествомъ, издаваемымъ печью Очевидно, что стѣны комнаты должны состоять изъ вещества дурно проводящаго теплоту Кирпичныя стѣны въ $0^{mm},70$ до 1 метра толщины достаточно удовлетворяютъ этому условію Стѣны изъ камня или изъ мрамора должны имѣть большую толщину; но въ суровыхъ климатахъ вещества эти рѣдко употребляются для построекъ

Стѣны изъ толстыхъ досокъ, поставленныхъ въ два ряда и образующихъ двойную стѣну съ промежуткомъ наполненнымъ весьма мелкими веществами, какъ-то рубленою соломою, древесными опилками, паклею, весьма хорошо держатъ теплоту и составляютъ экономическій способъ постройки въ странахъ изобилующихъ лѣсомъ. При этомъ существенное условіе состоитъ въ томъ, что всѣ смычки были хорошо законопачены, дабы препятствовать такимъ-образомъ проникаціе холоднаго воздуха.

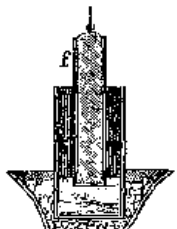
Стѣны, составляющія дурные проводники, равно полезны и для теплыхъ странъ, для защищенія внутренности домовъ отъ наружной теплоты. Ночью впускаютъ въ комнаты охладившійся воздухъ, а впродолженіи дня тщательно запираютъ окна и двери

§ 2. О теплопроводности жидкостей.

131. Теплопроводность жидкостей. — Долгое время думали, что жидкости, и именно вода, составляютъ хорошіе проводники теплоты. Румфортъ, руководимый нѣкоторыми, случайно сдѣланными, наблюденіями, предпринялъ цѣлый рядъ опытовъ, посредствомъ которыхъ онъ думалъ доказать, что вода вовсе не проводитъ теплоты; но его опыты только доказываютъ, что вода принадлежитъ къ весьма дурнымъ проводникамъ. Этотъ знаменитый ученый замѣтилъ, что сперва алькоголь, содержащійся въ термометрѣ большихъ размѣровъ, испытывалъ во время охлажденія движенія, обнаружившіяся посред-

ствомъ пылинокъ, случайно находившихся въ снарядѣ *). Движенія эти легко объясняются тѣмъ, что жидкость охлаждаясь у стѣнокъ сосуда, сжимается дѣлается плотнѣе и опускается, тогда-какъ около оси жидкость имѣетъ мѣньшую плотность и поднимается. Для избѣжанія этихъ движеній, вслѣдствіе которыхъ слои жидкости перемѣшиваются между собою, слѣдуетъ при дѣланіи наблюденій надъ теплопроводностью жидкостей нагрѣвать ихъ сверху. Главный опытъ Румфорта состоялъ въ слѣдующемъ: онъ замораживалъ на днѣ глубокаго стекляннаго сосуда (фиг. 67) слой воды, которая, замерзая, образовала въ центрѣ небольшое коническое возвышеніе *a*; возвышеніе это Румфортъ покрывалъ слоемъ масла или ртути при 0°. Послѣ этого онъ опускалъ осторожно въ жидкость желѣзный цилиндръ *f*, нагрѣтый до 100°, причемъ не замѣчалъ ни малѣйшаго таянія льда, хотя онъ имѣлъ 0° и отстоялъ только на одинъ сантиметръ отъ цилиндра. Но нѣтъ сомнѣнія что опытъ продолжался слишкомъ короткое время, почему теплота и не успѣвала проникнуть до льда, ибо мы увидимъ, что вода можетъ проводить теплоту, хотя и въ весьма незначительной степени.

Фиг. 67.



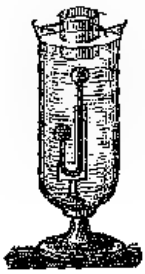
Пикте и Никольсонъ, поставивъ термометръ на дно цилиндрическаго сосуда, нашли что термометръ поднимался, когда въ жидкость погружали нагрѣтое тѣло такимъ-образомъ, чтобы оно отстояло отъ термометра только на небольшое разстояніе. Въ предупрежденіе возраженія на счетъ того, что теплота могла передаваться посредствомъ стѣнокъ сосуда нижнимъ слоямъ жидкости, которыя поднявшись перемѣшивали слои, Муррой (J. Murray) дѣлалъ опытъ съ водою, или масломъ, при 0°, наливая испытуемую жидкость въ цилиндрическія углубленія сдѣланныя въ кускѣ льда имѣвшаго ту же температуру. Теплота, которую получали стѣнки этого ледянаго сосуда, могла расплавить нѣкоторую часть льда, но не могла нагрѣвать стѣнокъ сосуда. По прошествіи четверти часа термометръ поднимался около 1°,5, когда слой масла покрывалъ термометръ на $^1/_2$ дюйма. При другомъ опытѣ, въ которомъ слой масла имѣлъ только $^1/_4$ дюйма, термометръ поднялся въ 7 минутъ на 2°,8. Источникомъ теплоты служилъ сосудъ наполненный кипяткомъ. Въ доказательство же того, что при-

*) Essais politiques, économiques et philosophiques, par B. comte Rumfort, t. II

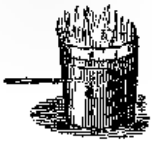
чиною возвышенія температуры не было лучеиспусканіе сосуда, дѣйствовавшее сквозь испытуемую жидкость, Муррей располагалъ сосудъ весьма близко надъ жидкостью, но только такъ чтобы онъ къ ней не прикасался и тогда дѣйствіе на термометръ было гораздо слабѣе.

Нынѣ этотъ опытъ производится слѣдующимъ образомъ: дифференціальный термометръ, устройства Гонарда ставятъ на дно сосуда такимъ образомъ, чтобы одинъ изъ шариковъ этого термометра мало отстоялъ отъ поверхности жидкости, наполняющей сосудъ (фиг. 68), въ металлическій сосудъ, нижняя часть котораго погружена въ жидкость, наливаютъ кипятокъ или горячее масло, и опытъ показываетъ что тогда указатель термометра опускается. Когда опытъ производятъ со ртутью, то, по непрозрачности жидкости, термометръ вставляютъ чрезъ боковую стѣнку сосуда, и опытъ показываетъ, что ртуть лучше другихъ жидкостей проводитъ теплоту. Такъ-какъ ртуть не теплопрозрачна, то опытъ этотъ вполнѣ убѣдителенъ и доказываетъ, что жидкое состояніе тѣлъ не противится распространенію теплоты посредствомъ теплопроводности и подтверждаетъ такимъ-образомъ существованіе этой способности и въ прочихъ жидкостяхъ. Для показанія теплопроводности ртути наполняютъ этою жидкостью стеклянный сосудъ (фиг. 69), сквозь стѣнку котораго погружаютъ горизонтально въ жидкость термометръ, и зажигаютъ налитый сверхъ ртути алькоголь: по прошествіи нѣкотораго времени, термометръ поднимется на нѣсколько градусовъ. Большая плотность ртути и металлическое ея свойство объясняютъ почему ртуть имѣетъ большую теплопроводность, чѣмъ другія жидкости.

фиг. 68



фиг. 69



132. Опыты Депре. Сомнѣнія, которыя бы еще могли существовать на счетъ теплопроводности воды, вполнѣ разрѣшаются опытами Депре *. Этотъ ученый дѣйствительно доказалъ, что температуры вертикальнаго столба воды, подвергнутаго въ верхней части дѣйствію постояннаго источника образуютъ убывающую геометрическую прогрессію, точно такъ же, какъ и въ брускѣ изъ твердаго тѣла. Снарядъ употребленный Депре состоитъ изъ деревяннаго цилиндра, на-

*) Annales de chimie et de physique, t. LXXI.

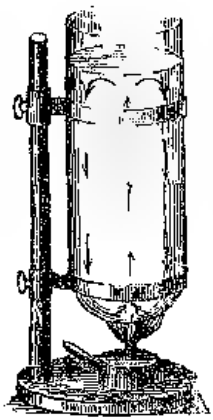
полненнаго водою, имѣющаго 1^m вышины и $0^m,218$ внутренняго діаметра. Двѣнадцать термометровъ, проходящихъ сквозь стѣнку сосуда, расположены горизонтально и такимъ-образомъ, чтобы резервуары ихъ находились на оси сосуда. Сосудъ изъ тонкой мѣди, поставленный на верхнюю часть водянаго столба, наполняется кипяткомъ, возобновляемымъ чрезъ каждыя 5 минутъ. Вода эта была проведена изъ сосѣдней комнаты посредствомъ трубы, другая же трубка служила для выпуска нѣсколько остывшей воды. Температура сосуда опредѣлялась термометромъ и средняя ея величина равнялась 76°, 9. По прошествіи 32-хъ часовъ, термометры сдѣлались постоянными и только первые шесть поднялись замѣтнымъ образомъ, что показываетъ, что столбъ можно разсматривать какъ безконечный. Взявъ отношеніе между двумя послѣдовательными избытками, нашли, что это отношеніе было приблизительно постоянно. Чтобы получить среднюю болѣе вѣрную, брали отношеніе чрезъ каждые два, или чрезъ каждые три избытка, и потомъ извлекали квадратный или кубическій корень.

При другомъ родѣ опытовъ, Депре расположилъ резервуары нѣсколькихъ термометровъ близъ стѣнки сосуда, а три другіе термометра вставилъ въ продолговатыя отверстія, наполненныя ртутью и сдѣланныя въ самой этой стѣнкѣ. Термометры эти показали, что температура одного и того же горизонтальнаго слоя уменьшается отъ центра къ окружности, что доказываетъ, что распространеніе теплоты въ водѣ не происходитъ вслѣдствіе вліянія стѣнокъ. Соль, какая бы то ни была, растворенная въ водѣ не измѣняетъ, повидимому, теплопроводности этой послѣдней; ибо частное было то же самое, какъ для жидкости содержавшей 3,7%, такъ и 11,1% обыкновенной соли.

133. Сообщеніе теплоты въ жидкостяхъ. Изъ всего вышесказаннаго выходитъ, что хотя жидкости и проводятъ теплоту, но что вообще они составляютъ дурные проводники. Теплота распространяется въ жидкой массѣ обыкновенно посредствомъ движеній, происходящихъ отъ того, что части болѣе нагрѣтыя, и слѣдовательно болѣе расширенныя и менѣе плотныя, поднимаются вверхъ, а части болѣе холодныя и плотныя опускаются внизъ. Такимъ-образомъ между различными частями массы совершается смѣшиваніе, и теплота *переносится* изъ одной точки въ другую посредствомъ перемѣщенія самихъ частицъ, содержащихъ теплоту, а не вслѣдствіе ея передачи посредствомъ теплопроводности. Движенія эти

можно видѣть если въ жидкость подмѣшать вещества той же плотности, наприм. древесныя опилки, которыя бывъ пропитаны жидкостью, остаются въ ней неподвижно на одномъ мѣстѣ. Нагрѣвая, по срединѣ, дно большаго глубокаго сосуда (фиг. 70), можно замѣтить восходящее движеніе по оси сосуда, и движенія нисходящія вдоль стѣнокъ. При охлажденіи замѣчаютъ движенія по направленіямъ противоположнымъ первымъ. Изъ этого слѣдуетъ, что для быстраго нагрѣванія большой массы воды надлежитъ дѣйствовать на дно, а не на боковую стѣнку сосуда. Еслибы мы стали нагрѣвать воду сверху то при этомъ верхніе слои даже могли бы кипѣть, между-тѣмъ какъ, на нѣкоторомъ разстояніи отъ поверхности, вода бы вовсе не измѣнила температуры, потому-что теплота не успѣетъ передаться посредствомъ одной теплопроводности, которая у воды чрезвычайно мала

Фиг. 70.



Одно изъ слѣдствій этихъ фактовъ состоитъ въ томъ, что всякое обстоятельство, затрудняющее движенія жидкой массы, должно также препятствовать распространенію въ ней теплоты. Румфортъ доказалъ это на опытѣ *; въ шаръ наполненномъ водою онъ помѣстилъ термометръ, шарикъ котораго занималъ центръ сосуда, и въ эту воду Румфортъ подмѣшивалъ вещества, уменьшавшія ее текучесть, какъ напримѣръ крахмалъ или же такія, которыя механически задерживали ея движенія, какъ наприм гагачій пухъ. Онъ нашелъ, что термометръ, находясь въ этомъ снарядѣ первоначально въ кипяткѣ, охлаждался тѣмъ медленнѣе, чѣмъ жидкость была менѣе подвижна. Результаты эти объясняютъ, почему напитанныя водою вещества, каши, мармелады и т. д. такъ медленно охлаждаются, если ихъ не мѣшать и не производить механическаго перемѣщенія частей, находящихся у стѣнокъ сосуда или на поверхности. Мясистые плоды, жирныя растенія, волокна которыхъ пропитаны сокомъ заключающимся въ ихъ ячейкахъ, худо проводятъ теплоту, и даже можно, помощью зажигательнаго стекла, произвести кипѣніе въ одной части этихъ веществъ, не измѣнивъ замѣтнымъ образомъ температуры смежныхъ частей. Наконецъ, трудность съ которою передается

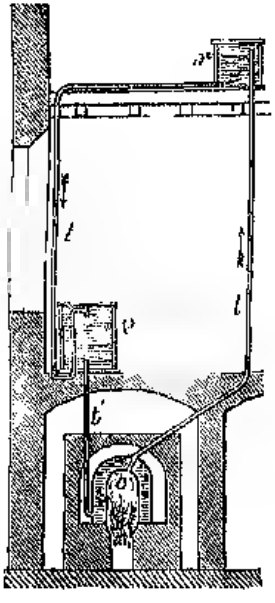
*) Essais t. II.

теплота въ жидкостяхъ, части которыхъ трудно перемѣщаются, составляетъ одну изъ причинъ почему растенія выдерживаютъ холодъ, далеко переходящій за точку замерзанія содержащейся въ нихъ жидкости

Волокна животныхъ также составляютъ дурные проводники, потому-что они пропитаны различными жидкостями. Вотъ почему можно нагрѣть до невыносимой боли какую-либо часть тѣла, не испытывая ощущенія жара во всемъ тѣлѣ. Если, ставъ передъ печкою въ холодной комнатѣ, мы ощущаемъ теплоту во всемъ тѣлѣ, то это происходитъ отъ того, что кровь, обращаясь, переноситъ по всему тѣлу теплоту, получаемую ею непосредственно отъ нагрѣтыхъ частей; такимъ-образомъ эта теплота увеличиваетъ то количество, которое производитъ собственно нашъ организмъ.

134. Примѣненіе: Отопленіе горячею водою. Движеніями происходящими въ жидкой массѣ, нагрѣваемой снизу, воспользовались для сообщенія теплоты различнымъ частямъ зданій Снарядъ употребляемый для этого, состоитъ изъ совокупности трубъ расположенныхъ по двумъ системамъ; по одной изъ нихъ горячая вода поднимается вверхъ, а по другой она опять стекаетъ внизъ, уступивъ предварительно часть своей теплоты трубамъ. Это общее расположеніе, придуманное Леономъ Дюваромъ (Leon Duvoir), можно видѣть на фиг. 71-й; вода нагрѣвается въ котлѣ *c* и, расширяясь, достигаетъ верхней его части, потомъ она поднимается въ трубу *t*, которая должна имѣть по возможности меньше изгибовъ, и затѣмъ достигаетъ верхняго резервуара *r*, составляющаго родъ печи съ горячей водою. Въ резервуарѣ этомъ вода охлаждается, уступая теплоту его стѣнкамъ, а потомъ воздуху комнаты. Сдѣлавшись плотнѣе, вода эта опускается чрезъ трубу *t'*, и, достигая до печи *P*, уступаетъ ей часть теплоты, а потомъ возвращается въ котелъ *c*, гдѣ она опять согрѣвается и снова поднимается вверхъ Послѣдній резервуаръ *r* имѣетъ въ верхней части отверстіе, служащее для наполненія снаряда водою и для выпуска воздуха, отдѣляющагося при нагрѣваніи воды. Отопленіе горячею водою, изобрѣтенное въ концѣ XVII-го столѣтія Бонменомъ Винтеманомъ,

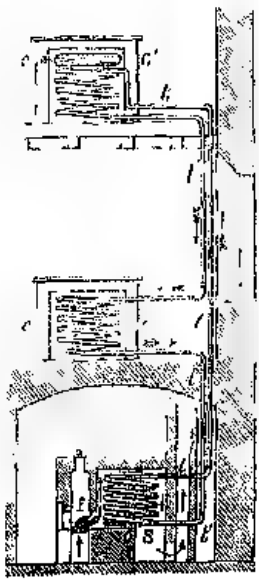
фиг. 71.



было въ первый разъ имъ употреблено для искусственнаго выведенія цыплятъ. Приборы употребляемые для такого отопленія называются *калориферами*.

Фиг. 72-я показываетъ устройство калорифера, предназначеннаго для произведенія высокой температуры, придуманное Перкинсомъ (Perkins). Вода заключена въ одной непрерывной системѣ трубъ. Она нагрѣвается въ спиральной части *s*, теплотою горна *t*. Спираль эта проходитъ чрезъ стѣнку *o*, раздѣляющую камеру, въ которой находится спираль, на двѣ равныя части. Пламя входитъ въ одну изъ этихъ камеръ, проходитъ надъ стѣною въ другую, опускается вдоль послѣдней внизъ и оттуда поднимается въ трубу по направленію стрѣлокъ чертежа. Вода согрѣтая въ спирали, поднимается въ трубу *t t t*, и опускается по трубѣ *t' t' t'*. Труба эта образуетъ спирали *c c*, *c c'*, заключенныя въ резервуарахъ въ родѣ печей, въ которыхъ воздухъ нагрѣвается на счетъ теплоты отступаемой водою стѣнкамъ трубъ. Резервуаръ, оставленный надъ спиралью *c c'*, служитъ для доставленія водѣ необходимаго простора для расширенія, а также и для скопленія отдѣляющагося изъ воды воздуха.

Фиг. 72.



135. Ф теплопроводности газовъ. Теплота распространяется въ газахъ посредствомъ движеній, подобныхъ тѣмъ, какія замѣчаютъ въ жидкостяхъ, съ тою только разницею, что движенія эти въ газахъ бываютъ гораздо свободнѣе, по причинѣ ихъ бо́льшей расширяемости и мѐньшей плотности. Движенія эти не дозволяютъ рѣшить, одарены ли газы, собственно говоря, теплопроводностью, потому-что еслибы мы и пытались нагрѣвать газъ сверху, то по причинѣ большой теплопрозрачности газовъ, теплота лучеиспускается къ нижней стѣнкѣ сосуда, нагрѣваетъ эту стѣнку, вслѣдствіе чего расширяется прикасающійся къ ней газъ и тотчасъ обнаруживаются движенія. Такъ-какъ газы одарены только слабою лучеиспускательною способностью (49), а теплопроводность есть слѣдствіе частичнаго лучеиспусканія (117), то надобно полагать, что если газы и обладаютъ теплопроводностью, то только въ столь незначительной степени, что теплота, передаваемая ими этимъ путемъ бываетъ совершенно неза-

мѣтна Обстоятельство это доказывается при замедленіи движеній газовъ

Томсонъ (Thomson) произвелъ множество опытовъ по этому предмету *); употребленный имъ небольшой снарядъ, названный *термометромъ прохожденія*, состоитъ изъ обыкновеннаго термометра, шарикъ котораго занимаетъ центръ пустаго стекляннаго шара Шаръ этотъ наполнялся различными, весьма мелкими веществами, въ количествахъ равныхъ по вѣсу, и погружался для нагрѣванія въ кипятокъ. Нагрѣтый такимъ-образомъ шаръ, Томсонъ опускалъ въ тающій ледъ и наблюдалъ время, которое употреблялъ термометръ для того, чтобы понизиться на 10°. Томсонъ такимъ-образомъ доказалъ, что теплота термометра только весьма медленно проходитъ въ наружу, что происходитъ отъ присутствія волокнистыхъ веществъ, механически уменьшающихъ подвижность газа, а также и отъ прилипанія газа къ упоминаемымъ веществамъ. Послѣднее обстоятельство можно видѣть, если мы вещества эти опустимъ въ воду и вытянемъ воздухъ изъ сосуда; каждое волокно въ этомъ случаѣ становится какъ-бы серебристымъ и покрывается безчисленнымъ множествомъ воздушныхъ пузырьковъ, отдѣляющихся изъ этихъ волоконъ Употребленныя Томсономъ вещества были: *шелкъ*, *шерсть*, *вата*, *корпія изъ тонкаго полотна*, *бобровый пухъ*, *бѣлый русскій заячій мѣхъ* и *гагачій пухъ*. Изъ веществъ этихъ, два послѣднія лучше остальныхъ преграждаютъ теплоту. Вообще тонкость и однообразное распредѣленіе волоконъ много споспѣшествуетъ способности удерживать теплоту, чѣмъ ясно объясняется вліяніе заключеннаго между волокнами газа. Такимъ-образомъ мѣхъ удерживаетъ воздухъ, наполняющій промежутки между волосомъ, и тѣмъ болѣе, чѣмъ волосъ бываетъ тоньше и гуще, т.-е, чѣмъ пушистѣе мѣхъ; это обстоятельство собственно и затрудняетъ движеніе теплоты.

136. Примѣненія. — Мы называемъ теплою одежду, если она препятствуетъ тѣлесной теплотѣ теряться внаружу Свойство это одежда пріобрѣтаетъ отъ волокнистаго расположенія ткани и отъ воздуха наполняющаго промежутки между волокнами. Если ткань сжать и сдѣлать болѣе сплошною, то она утратитъ часть вышепомянутаго свойства, хотя бы она и сохранила ту же толщину. Мѣхъ лучше грѣетъ, когда онъ обращенъ волосомъ внутрь, потому-что воздухъ, заключенный въ этомъ случаѣ между волосомъ, не можетъ

*) Bibliothèque bretannique, t. I.

возобновляться, и образуетъ неподвижный, значительной толщины слой удерживающій теплоту. Слѣдовательно для предупрежденія охлажденія, необходимо завертывать тѣло въ толстую, но мягкую шерстяную ткань или въ мѣхъ Ту же предосторожность должно соблюдать съ сосудами, въ которыхъ сохраняется ледъ, дабы не дозволить теплому воздуху проникать въ сосудъ

Въ холодныхъ странахъ прибѣгаютъ къ двойнымъ окнамъ для удержанія теплоты въ комнатахъ, окна эти вставляются или въ одну и ту же раму, или въ двѣ рамы, параллельныя между собою. Въ послѣднемъ случаѣ между рамами кладутъ невысокій слой сухаго песку, въ который вставляютъ коробочки съ прокаленною солью для поглощенія сырости; безъ этой предосторожности сырость, садясь на окна можетъ вредить ихъ прозрачности Двойныя окна употребляются также и въ теплыхъ странахъ для оранжерей и для теплицъ. Воздухъ, заключенный между окнами, удерживаетъ теплоту, и для увеличенія этого дѣйствія располагаютъ еще между окнами поперечныя стекла, останавливающія кругообращеніе воздуха между рамами. Двойныя окна имѣютъ еще и ту выгоду, что они пропускаютъ лучи солнца, не дозволяя однако производимой ими теплотѣ теряться тѣмъ же путемъ наружу. Справедливость этого съ очевидностью доказывается посредствомъ нижеслѣдующаго опыта.

Камера Соссюра (Saussure Соссюръ устроилъ изъ легкаго дерева, въ то же время дурнаго проводника, ящикъ и внутренность его покрылъ сажею, а одну изъ сторонъ замѣнилъ тремя стеклянными пластинками въ промежуткахъ между которыми находился воздухъ. Если подвергнуть этотъ снарядъ дѣйствію солнечныхъ лучей, то помѣщенный въ немъ термометръ можетъ нагрѣваться до 80° и даже 100° Для объясненія этого результата замѣтимъ что солнечные лучи, падающіе на внутреннія стѣнки ящика, поглощаются только верхними слоями стѣнокъ, которыя поэтому сильно нагрѣваются и сообщаютъ теплоту прикасающемуся къ нимъ воздуху, заключенному въ камерѣ Такимъ-образомъ воздухъ значительно нагрѣвается Но какъ стѣнки состоятъ изъ дурныхъ проводниковъ, то онѣ не могутъ передавать теплоты наружу, которая въ то же время преграждается пластинками изъ стекла и заключеннымъ между ними воздухомъ. Что же касается лучей, испускаемыхъ нагрѣтыми стѣнками камеры и направленныхъ къ стеклянной перегородкѣ, то и они не могутъ проникать наружу, по причинѣ незначительной теплопрозрачности стекла относительно лучей, испускаемыхъ слабыми источниками (100).

Перегородка эта, слѣдовательно, пропускаетъ внутрь солнечные лучи, не дозволяя имъ возвращаться наружу, вслѣдствіе чего теплота скопляется внутри камеры. Отсюда слѣдуетъ, что для возможно-большаго нагрѣванія воздуха въ комнатѣ, посредствомъ падающихъ въ окна солнечныхъ лучей, должно держать окна закрытыми

ГЛАВА IV.

О расширеніи.

137. — Въ этой главѣ, и въ слѣдующихъ, мы займемся дѣйствіями, производимыми теплотою на тѣла Мы начнемъ съ изученія явленія *расширенія*

Расширяемость тѣлъ. Теплота расширяетъ всѣ тѣла, и мы видѣли какимъ-образомъ это доказывается для твердыхъ, капельно-жидкихъ и газообразныхъ тѣлъ. Явленіе это уже было извѣстно въ самой глубокой древности. Парменидъ (500 л. до Р. Х.) говоритъ, что огонь разрѣжаетъ, а холодъ сгущаетъ. Академія *del Cimento* доказала посредствомъ многочисленныхъ опытовъ, что *расширяемость* есть свойство общее всѣмъ тѣламъ, а Бюффонъ дополнилъ эти доказательства, показавъ, что тѣла каменистыя также расширяются.

Но есть вещества, которыя, повидимому, составляютъ исключенія изъ этого правила Напримѣръ, хорошо высушенная глина сжимается, когда ее подвергаютъ дѣйствію огня, но при этомъ совершается полное группированіе различныхъ частицъ, составляющихъ это вещество, частицы вступаютъ въ новыя соединенія и начинаютъ переходить въ стекловидное состояніе. Доказательствомъ же тому, что въ этомъ случаѣ происходитъ химическое измѣненіе свойствъ тѣла, служитъ то обстоятельство, что послѣ охлажденія тѣло уже не принимаетъ болѣе первоначальнаго объема. Дерево тоже сжимается отъ нагрѣванія, но это происходитъ отъ того, что оно высыхаетъ, оно теряетъ сырость, уменьшается въ вѣсѣ и не принимаетъ послѣ охлажденія первоначальнаго объема Увеличеніе объема тѣлъ, вслѣдствіе нагрѣ-

нія называется *расширеніемъ* иногда оно также называется *разрѣженіемъ*

§ 1. Расширеніе твердыхъ тѣлъ.

138. Явленія расширенія твердыхъ тѣлъ. Хотя твердыя тѣла расширяются менѣе, чѣмъ жидкости однако это расширеніе бываетъ столь значительно, что во многихъ случаяхъ оно должно быть принято во вниманіе. Тѣла дурно проводящія теплоту, будучи внезапно подвержены дѣйствіе огня, трескаются отъ расширенія, наприм сосуды изъ толстаго стекла; расширеніе, совершающееся въ этихъ случаяхъ только въ наружныхъ слояхъ, а не во всей толщинѣ, до-того отрываетъ ненагрѣтыя части отъ нагрѣтыхъ, что разрушаетъ наконецъ существующую между ними связь. Когда же стѣнки сосуда очень тонки, то онъ можетъ сломаться вслѣдствіе изгибовъ, происходящихъ отъ расширенія тѣхъ только частей, которыя подвержены нагрѣванію Но дѣйствія этого не можетъ произойти, когда сосудъ наполненъ водою потому-что вода перенося теплоту распредѣляетъ ее по всѣмъ частямъ сосуда Нагрѣтое стекло лопается отъ прикосновенія холоднаго металла отнимающаго теплоту у частицъ, къ которымъ онъ прикасается, вслѣдствіе чего они сжимаются и разъединяются Точно такъ же можно разъединить стеклянную трубку, прикоснувшись къ ней раскаленнымъ до-красна желѣзомъ.

Расширеніе металловъ производитъ весьма замѣтныя явленія котлы изъ свинца или цинка, помѣщенные въ печахъ изъ кирпичей, коробятся до-того что они лопаются, если имъ не оставлено довольно простора для расширенія, крыши изъ цинка получаютъ трещины, когда составляющія ихъ части между собою спаяны, а не расположены наподобіе черепицъ, дабы имѣть такимъ-образомъ возможность расширяться безъ сопротивленія Проводныя трубы должны быть устроены такимъ-образомъ, чтобы составляющія ихъ части могли входить одна въ другую, смычки ихъ для этой цѣли заключаются въ муфты съ паклею, препятствующею просачиванію жидкости От расширенія или служиванія желѣзныхъ скобъ ломаются камни брустверовъ, связанные этими скобами для большей прочности Между полосами желѣза, образующими рельсы, и положенными концомъ къ концу, оставляютъ обыкновенно промежутокъ въ нѣсколько миллиметровъ для доставленія рельсамъ возможности свобод-

но расширяться. При переходѣ температуры отъ —20° къ 40°, одинъ километръ рельсовъ расширяется на 7 метровъ.

Стѣны строеній также расширяются замѣтнымъ образомъ. Ключь свода большихъ мостовъ поднимается и понижается съ измѣненіемъ температуры. Викà (Vicat) замѣтилъ, что на мосту въ Сульякѣ (Souliac, на Дордоньѣ, дѣйствія эти до того значительны что при большомъ холодѣ нѣкоторые изъ швовъ, даже совершенно расходятся, и потомъ вновь сближаются при наступленіи тепла,—въ-особенности на сторонѣ моста обращенной къ югу *. Астрономическіе снаряды расположенные на высокихъ строеніяхъ, измѣняютъ часто свое положеніе по причинѣ расширенія стѣнъ, подверженныхъ дѣйствію солнца.

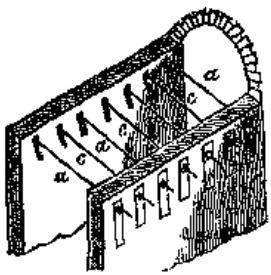
139. Сила расширенія. Если мы возьмемъ несгибаемый стержень и упремъ оба его конца въ предметы представляющіе весьма значительное сопротивленіе, а потомъ станемъ возвышать температуру стержня, то онъ мало-по-малу будетъ расширяться и преодолѣетъ наконецъ противопоставленное ему сопротивленіе — до-того велика сила, съ которою совершается расширеніе. Чтобы противодѣйствовать этому расширенію, пришлось бы употребить усиліе, способное сжать расширенный стержень на все количество, на которое онъ увеличился, а извѣстно, что потребная для этого сила весьма велика. Если стержень нагрѣтъ и прикрѣпленъ концами къ препятствіямъ, то при охлажденіи онъ сближаетъ эти препятствія, развѣ оказываемое ими сопротивленіе будетъ до того велико, что оно будетъ въ состояніи произвести разрывъ въ стержнѣ или же вытянуть его на столько, на сколько онъ сжимается при охлажденіи. Желѣзный стержень длиною въ 1^м расширяется на 0,0012 при нагреваніи на 100°. Усиліе P, необходимое для того чтобы противодѣйствовать сжатію или расширенію квадратнаго стержня, имѣющаго въ разрѣзѣ сторону равную 5^см, при охлажденіи его отъ 100° до 0° или при нагреваніи отъ 0° до 100°, опредѣляется по извѣстной въ механикѣ формулѣ =63000 килогр., если коэффиціентъ упругости желѣза принять круглымъ числомъ = 21000.

Примѣчаніе. Моляръ (Molard) сдѣлалъ довольно любопытное примѣненіе, показывающее, какую можно иногда извлечь пользу изъ силы проявляемой при сжатіи охлаждающихся стержней. У одной изъ

*) *Annales de chimie et de physique, 2e serie, t. XXVII et XXXVI.*

сводчатыхъ галлерей парижской консерваторіи искусствъ и ремеслъ, раздвинулись стѣны вслѣдствіе сильнаго давленія на нихъ свода, и всему зданію угрожало разрушеніе. Для приведенія стѣнъ въ прежнее положеніе, равно и для удержанія ихъ потомъ въ этомъ положеніи Моларь продѣлъ сквозь нихъ нѣсколько желѣзныхъ стержней *a, c, a, c, a, c, a* (фиг. 73), съ винтовыми нарѣзками по концамъ, снабженными гайками. Стержни эти были подвержены сильному накаливанію посредствомъ раскаленнаго угля, который помѣщался въ желѣзныхъ рѣшеткахъ, прикрѣпленныхъ къ стержнямъ. Сперва накаливали только стержни *a, a, a* и по расширеніи ихъ навинчивали наружныя гайки, упиравшіяся въ толстыя дубовыя доски, для распредѣленія давленія на довольно большое пространство. Послѣ этого давали стержнямъ *a* охладиться, тогда стѣны, повинуясь давленію гаекъ, сближались взаимно на столько, на сколько сжимались стержни. Вслѣдъ за этимъ накаливали стержни *c*, навинчивали снаружи гайки, давали стержнямъ охладиться, и такимъ-образомъ стѣны вновь сближались на нѣкоторое количество. Продолжая подобнымъ образомъ накаливать попеременно стержни *a* и *c*, довели наконецъ стѣны до отвѣснаго положенія; стержни потомъ были оставлены въ стѣнахъ, для сохраненія зданію такого положенія и на будущее время.

Фиг. 73.



Силою сжатія охлаждающихся тѣлъ, пользуются также при стягиваніи шины на каретное колесо. Для этого на ободъ колеса надѣваютъ плотно приходящійся желѣзный обручъ, сильно нагрѣтый. Желѣзная полоса, охлаждаясь, сжимается, и крѣпко стягиваетъ ободъ колеса, всѣ части котораго такимъ-образомъ связываются съ большою силою. Желѣзные обручи съ закраинами, окружающіе колеса локомотивовъ и вагоновъ желѣзныхъ дорогъ, накладываются посредствомъ такого же способа; обратно для снятія этихъ шинъ, когда они стерты, ихъ предварительно нагрѣваютъ, съ цѣлью увеличить ихъ окружность посредствомъ расширенія. Для повѣрки и вычисленія описанныхъ нами дѣйствій, необходимо знать количество, на которое расширяются различныя вещества; расширеніе же не одно и то же для различныхъ твердыхъ тѣлъ, и такъ-какъ оно чрезвычайно мало, то, для достиженія совершенной точности при его измѣреніи должно прибѣгать къ особеннымъ средствамъ. Мы теперь займемся описаніемъ способовъ, придуманныхъ для этой цѣли.

Въ твердыхъ тѣлахъ опредѣляются два рода расширеній: расширеніе въ одномъ только направленіи или *линейное расширеніе*, и расширеніе по всѣмъ направленіямъ, т.-е. увеличеніе *объема* посредствомъ теплоты, или *расширеніе кубическое*.

1. Измѣреніе линейнаго расширенія твердыхъ тѣлъ между 0° и 100°.

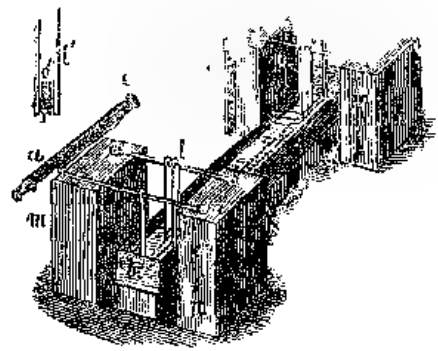
140. Первыя попытки для измѣренія линейнаго расширенія твердыхъ тѣлъ были сдѣланы Мушенбрёкомъ (Muschenbroeek). Опытъ былъ произведенъ посредствомъ желѣзнаго стержня проходившаго сквозь стѣнку ящика, наполненнаго кипяткомъ причемъ одинъ конецъ стержня упирался въ систему зубчатыхъ колесъ приводившихъ въ движеніе стрѣлку. Но опытъ этотъ давалъ только грубую приблизительность, потому-что, между прочимъ не весь стержень находился въ горячей водѣ. Бугеръ (Bouguer) произвелъ въ Квито множество опытовъ посредственнымъ способомъ, показывающаго только порядокъ, которому слѣдуютъ тѣла, относительно ихъ расширяемости. Смитонъ (Smeaton) употреблялъ пирометръ подобный показанному на фиг. 1-й, стр. 9; онъ погружалъ этотъ пирометръ совершенно въ воду, такъ-что въ дѣйствительности онъ получалъ только разность между расширеніями стержня и деревяннаго стола снаряда. Берту (Berthoud) употреблялъ подобное же средство: неподвижный конецъ стержня и ось стрѣлки были утверждены на мраморной доскѣ, расширеніе которой также измѣняло результаты; снарядъ помѣщался въ ваннѣ, а температуру показывали термометры, расположенные на мраморной доскѣ. Главное затрудненіе въ опытахъ этого рода состоитъ въ приисканіи способа для доставленія совершенной неподвижности одному изъ концовъ стержня равно и для достиженія совершенно равномѣрной температуры въ стержнѣ на всемъ его протяженіи. Лапласъ и Лавуазье (Laplace, Lavoisier), въ 1781 и 1782 гг., и генералъ Руа (Roy), въ 1787, побѣдили наконецъ эти трудности. Для достиженія однообразной температуры они располагали стержень горизонтально въ сосудѣ наполненномъ кипяткомъ, потому-что извѣстно, что при вертикальномъ положеніи стержня различные слои жидкости не имѣли бы въ точности одной и той же температуры.

141. Опыты Лапласа и Лавуазье. Трудъ Лапласа и Лавуазье не былъ обнародованъ до катастрофы похитившей у науки, такимъ ужаснымъ образомъ, послѣдняго изъ этихъ великихъ уче-

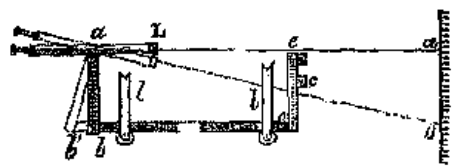
ныхъ. Но, къ-счастію Біо получилъ отъ вдовы Лавуазье рукопись, въ которой былъ изложенъ этотъ трудъ и публиковалъ содержаніе ея въ 1846 году *)

Снарядъ изобрѣтенный Лавуазье и Лапласомъ состоитъ изъ четырехъ столбовъ изъ тесаннаго камня, *m m, m, m* фиг 74, врытыхъ въ землю на 2 метра глубины между этими столбами расположена печь изъ кирпичей, которая поддерживаетъ ванну, имѣющую болѣе 2-хъ метровъ длины Въ ванну эту помѣщается испытуемый стержень *b o* Полоса эта покоится на каткахъ, поддерживаемыхъ стеклянными полосками *l, l* какъ это можно видѣть отдѣльно въ *l'*; *r* изображаетъ одинъ изъ катковъ, а *o'* сѣченіе стержня. Стеклянныя полоски *l, l* прикрѣплены къ горизонтальнымъ перекладинамъ, опирающимся на столбахъ. Расположеніе это дозволяетъ стержню расширяться по длинѣ, не противопоставляя ему никакого сопротивленія Конецъ стержня, долженствующій оставаться неподвижнымъ, упирается въ вертикальную стеклянную полоску *o o* фиг 74 и 75, прикрѣпленную въ *e* къ перекладинѣ утвержденной на столбахъ *m, m* и прислоненную сзади къ стеклянной полосѣ *c*, недозволяющей полоскѣ *e o* сдаваться назадъ, такъ-что она представляетъ стержню *b o* твердую точку опоры Оконечность *b* стержня упирается въ стеклянную полоску *l b* прикрѣпленную къ цилиндрическому стержню *a a*, который можетъ вращаться около своей оси и приводитъ въ движеніе перпендикулярную къ *a a* зрительную трубу *L*, описывающую уголъ въ то время когда стержень *b o* расширяясь, подыгаетъ стеклянную полоску *l b* и поворачиваетъ такимъ-образомъ ось *a a* Зрительная труба снабжена горизонтальною микрометрическою нитью, пробъ-

фиг 74.



фиг. 75.



*) Traité de physique expérimentale et mathématique I, page 146

тающею при перемѣщеніи трубы, подраздѣленія вертикальнаго масштаба $\alpha\beta$ (фиг. 75) расположеннаго отъ снаряда на разстояніи 50 метровъ.

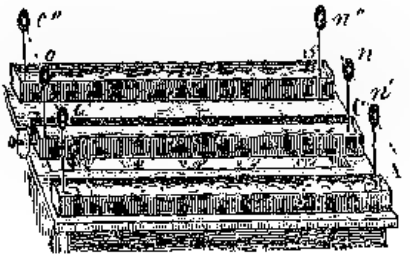
Опыты производились слѣдующимъ образомъ: стержень сначала погружали въ воду при 0° и наблюдали, на которомъ изъ дѣленій масштаба проэктировалась нить зрительной трубы. Потомъ спускали посредствомъ крана холодную воду и замѣняли ее кипяткомъ *); температура вскорѣ становилась постоянною, что и обнаруживалось термометрами, помѣщенными возлѣ стержня. При этомъ снова наблюдали, съ которымъ изъ дѣленій масштаба совпадала нить зрительной трубы и изъ двухъ этихъ наблюденій заключали о числѣ дѣленій, пройденныхъ нитью. Изъ этого результата уже легко вывести количество, на которое увеличилась длина стержня И дѣйствительно, пусть $\alpha\beta$ (фиг. 75) будетъ вертикальный масштабъ, aL зрительная труба и ob стержень, котораго конецъ послѣ расширенія переходитъ въ b'. Треугольники abb' и $\alpha a\beta$ подобны; слѣдовательно $bb' : \alpha\beta = ab : a\alpha$; итакъ отношеніе между bb' и $\alpha\beta$ постоянно и равняется $ab : a\alpha$. Такимъ-образомъ если отношеніе это извѣстно, то достаточно измѣрить $\alpha\beta$, чтобы вывесть изъ него расширеніе bb' А какъ изъ непосредственнаго опыта дознано, что для растоянія въ 50 метровъ отношеніе это $=\frac{1}{744}$, то искомое расширеніе будетъ $\frac{\alpha\beta}{744}$. Расширеніе получится такимъ-образомъ съ большою точностью потому-что погрѣшность въ измѣреніи $a\beta$ раздѣлится на 744.

142. Способъ Руа и Рамздена (Ramsden). Оптикъ Рамзденъ устроилъ, по указаніямъ генерала Руа, снарядъ, который долженъ былъ представить болѣе вѣрную точку опоры, нежели предыдущій снарядъ, въ которомъ стеклянная полоска *eo* расширяясь, увеличивается въ толщинѣ. Снарядъ этотъ состоитъ изъ трехъ параллельныхъ ваннъ *A*, *C*, *B* (фиг. 76), въ которыхъ находятся три стержня одинаковой длины, стержень средней ванны покоющійся на каткахъ, состоитъ изъ испытуемаго вещества. Два остальные стержня суть призмы изъ чугуна На оконечностяхъ этихъ трехъ стержней находятся вертикальные стержни, снабженные пластинками, съ весьма

*) При произведеніи первыхъ опытовъ воду нагрѣвали посредствомъ печи находящейся подъ ванною; по впослѣдствіи это было найдено неудобнымъ; къ тому же теплота могла сообщаться различнымъ частямъ снаряда и, расширяя ихъ, измѣнять ихъ размѣры.

маленькими отверстіями o, o', o'' и n, n', n'' Три эти стержня, окруженные тающимъ льдомъ, располагаютъ такимъ-образомъ, чтобы всѣ три отверстія вертикальныхъ стержней находились съ каждой стороны на одной прямой линіи, что можно узнать, смотря сквозь эти отверстія. При этомъ стержень, находящійся въ срединѣ, упирается лѣвымъ концомъ въ микрометрическій винтъ, который проходитъ сквозь стѣнку ванны, и котораго головка съ дѣленіями находится снаружи. Послѣ этого ледъ ванны замѣняютъ кипяткомъ, температура котораго поддерживается посредствомъ пламени нѣсколькихъ спиртовыхъ лампъ, помѣщенныхъ подъ ванною Стержень вслѣдствіе нагрѣванія расширяется и тогда отверстія n, n', n'' не будутъ болѣе находиться на прямой линіи. Потомъ, отвинтивъ головку винта, приводятъ вновь стержень въ такое положеніе, чтобы отверстія эти находились на прямой линіи, и тогда число оборотовъ винта показываетъ количество, на которое увеличилась длина стержня при нагрѣваніи. Температура узнается посредствомъ термометровъ, помѣщенныхъ въ ваннѣ возлѣ стержня. Удлиненіе винта, расширяющагося вслѣдствіе дѣйствія теплоты, производитъ нѣкоторую неточность, но эта погрѣшность, повидимому, совершенно ничтожна, потому-что расширенія, полученныя при различныхъ температурахъ и приведенныя къ тому, чему бы они равнялись при нагрѣваніи на одинъ только градусъ, даютъ приблизительно одинъ и тотъ же результатъ.

фиг. 70.



143. Законы и результаты полученные изъ наблюденій.— *Коэффиціентомъ линейнаго расширенія* называется увеличеніе единицы длины тѣла при возвышеніи температуры на 1°. Отъ полученнаго изъ опыта увеличенія длины l, легко перейти къ коэффиціенту когда извѣстны длина L стержня при 0° и испытанное стержнемъ увеличеніе температуры l, такъ-какъ увеличеніе единицы длины будетъ въ L разъ меньше, чѣмъ увеличеніе длины L, и для 1° въ l разъ меньше, чѣмъ для l^0. Коэффиціентъ расширенія, слѣдовательно, будетъ $k = \frac{l}{Ll^0}$ при этомъ предполагается, что расширеніе совершается равномѣрно для каждаго градуса, что и дѣйствительно было доказано Лапласомъ и Лавуазье до температуры 100°. Лапласъ и Лавуазье постоянно находили ту же величину для k, ка-

кова бы ни была температура t, производившая увеличеніе длины l, которая служила для вычисленія этой величины k. Изъ этого слѣдуетъ, что до 100° *расширеніе твердыхъ тѣлъ равномѣрно.* Только сталь повидимому составляетъ исключеніе изъ этого правила; расширеніе ея на 1°, уменьшается съ увеличеніемъ температуры. Это зависитъ отъ отвариванія, производимаго теплотою, и въ-самомъ-дѣлѣ доказано, что отваренная сталь расширяется менѣе закаленной. Въ нижеслѣдующей таблицѣ собраны коэффиціенты линейнаго расширенія большаго числа тѣлъ.

Названія веществъ.	Коэффиціенты	Названія веществъ.	Коэффиціенты.
Флинтъ-глассъ англійск.	0,000 008 116	Золото прокал. (пар. пр.)	0,000 015 135
Франц. стекло съ свинц.	» 8 719	Золото не прокален...	» 15 515
Стекл. трубк. безъ свинц	» 8 969	Мѣдь	» 17 173
Стекло Saint-Gobain...	» 8 908	Латунь	» 18 782
Сталь незакаленная...	» 10 792	Серебро (парж. проб.)	» 19 086
Сталь желтой закалки	» 12 395	Серебро чистое	» 19 097
Мягкое желѣзо кованное	» 12 204	Олово малаккское....	» 19 376
Желѣзо круглое... ..	» 12 350	Олово изъ Фальмута..	» 21 729
Золото чистое	» 14 660	Свинецъ	» 28 483

По Смитону (Smeaton.)

Стекло бѣлое	0,000 008 333	Проволока латунная ..	0,000 019 333
Сюрьма.	» 10 833	Металлъ зеркальный..	» 19 333
Сталь	» 11 500	Спайка (2 мѣди, 1 цинко).	» 20 583
Сталь закаленная... .	» 12 250	Олово чистое	» 22 833
Желѣзо	» 12 583	Олово въ зернахъ....	» 24 833
Висмутъ.	» 13 916	Спайка (1 олов., 2 свинц.)	» 25 053
Мѣдь красная кованная	» 17 000	Цинкъ 8, олова 1.....	» 26 916
Мѣдь красная, 1/9 олова.	» 18 166	Свинецъ	» 28 666
Мѣдь желтая литая ...	» 18 750	Цинкъ	» 29 416
Мѣдь желтая, 1/8 олова.	» 19 083	Цинкъ, вытянут. на 1/12	» 31 083

Названіе веществъ.	Коэффиціенты.	Названіе веществъ.	Коэффиціенты.
	Различныхъ наблюдателей		
Желѣзо литое (въ формѣ призмы) (Гэй...	0,000 011 100	Сталь Траутонъ.....	0,000 011 918
Сталь (Руа).....	» 11 443	Желѣзо въ видѣ провол.	» 14 401
Мѣдь желтая (Руа) .	» 18 555	Мѣдь тоже	» 19 188
Платина (Траутонъ . .	» 9 918	Серебро тоже.....	» 20 826
Платина (Боро).....	» 8 865	Палладіумъ Вульстенъ.	» 10 000

Чтобы найти коэффиціентъ расширенія палладіума, металла весьма рѣдкаго, Вульстенъ (Wollaston), спаялъ по всей длинѣ двѣ узкія полоски изъ платины и палладіума, наложенныя одна на другую, и двойную эту пластинку подвергнулъ нагрѣванію, причемъ онъ замѣтилъ, что пластинка приняла вогнутый видъ со стороны платины, и изъ этого заключилъ, что изъ двухъ этихъ металловъ палладіумъ имѣетъ наибольшую расширительность. Замѣнивъ потомъ платину стальною пластинкою Вульстенъ замѣтилъ, что полоска принимала выпуклый видъ со стороны стали, что доказываетъ, что палладіумъ расширяется меньше стали; слѣдовательно коэффиціентъ палладіума заключается между коэффиціентами платины и стали, и значитъ мало разнится отъ 0,00001.

Мы присовокупимъ еще, что по указаніямъ Риттенгуза (Rittenhouse) высушенное дерево расширяется, по направленію волоконъ, менѣе чѣмъ стекло; а по указаніямъ Руа, еловое дерево расширяется въ той же степени, какъ и стекло. Горшечная глина расширяется только на 0,0004, что равняется $\frac{1}{2400}$, для 100°; по Веджвуду (Wedgwood), расширеніе это становится въ три раза меньше, если глину сдѣлать скважистою посредствомъ примѣси угля.

Предъидущая таблица показываетъ, что наиболѣе расширяемые металлы суть цинкъ и свинецъ; наименѣе же расширяемый — платина, и что стекло имѣетъ почти одинаковое съ нею расширеніе. Твердость и тягучесть не имѣютъ, повидимому, никакого вліянія на расширяемость. Бертоле (Berthollet) замѣтилъ, что наиболѣе рас-

ширяемые металлы суть въ то же время и наиболѣе плавкіе, и что наименѣе плавкіе, какъ платина, въ тоже время и менѣе другихъ расширяются. Изъ этого Бертолле заключаетъ, что чѣмъ болѣе металлъ приближается къ температурѣ своего плавленія, тѣмъ сильнѣе онъ долженъ расширяться; такъ-что коэффиціентъ расширенія долженъ увеличиваться по мѣрѣ возвышенія температуры. Мы скоро увидимъ, что предположеніе это вполнѣ оправдывается.

Наконецъ должно замѣтить, что числа показанныя въ таблицѣ, только приблизительно могутъ быть примѣнены къ другимъ стержнямъ, не служившимъ непосредственно къ опредѣленію этихъ чиселъ Въ случаяхъ же, гдѣ требуется большая точность, надлежитъ измѣрять непосредственно расширеніе именно того куска, который хотятъ употребить въ дѣло

144. Формулы для расширенія.—Знаніе коэффиціента расширенія даетъ намъ возможность рѣшить нѣкоторыя, часто встрѣчающіяся, задачи

1-е. Пусть будетъ дана длина L отержня при 0°; слѣдуетъ найти его длину L' при температурѣ t Пусть k будетъ коэффиціентъ линейнаго расширенія вещества, изъ котораго состоитъ стержень Расширеніе единицы длины при $t°$ будетъ kt, и расширеніе L единицъ длины будетъ kLt. Длина расширеннаго стержня, слѣдовательно, будетъ $L + kLt$, или $L(1 + kt$ Итакъ

$$(a)\ldots\quad L' = L(1 + kt),\ \text{откуда}\ (b)\quad L = \frac{L'}{1 + kt}.$$

Формула (b) служитъ для вычисленія длины L при 0°, когда извѣстна длина L' при $t°$.

2-е. Пусть будетъ извѣстна длина L при $t°$; найти длину L' при $t'°$. Во-первыхъ, на основаніи формулы (b) длина L при 0° будетъ $\frac{L}{1 + kt}$, и для полученія длины при t, слѣдуетъ, на основаніи формулы (a), помножить длину при 0° на $1 + kt$. Получимъ

$$(c)\quad L' = L\,\frac{1 + kt'}{1 + kt}.$$

Длину L' вычисляютъ иногда другимъ образомъ: такъ-какъ увеличеніе температуры равно $t'-t$, то увеличеніе длины будетъ $Lk(t'-t)$; слѣдовательно при t' длина будетъ.

$$(d) \quad L' = L\,[1 + k\,(t' - t)].$$

Формула эта не соотвѣтствуетъ въ точности формулѣ (c), потому-что сдѣлавъ алгебраическое дѣленіе $1 + kt'$ на $1 + kt$, получимъ въ частномъ числѣ $1 + (t' - t)\,k - k^2 t + k^3 t^2 - \ldots$. Но какъ k весьма малая дробь (наибольшая величина ея для цинка составляетъ только 0,000031), то $k^2, k^3 \ldots$ могутъ быть отброшены, какъ количества гораздо мѣньшія, нежели погрѣшности сдѣланныя при измѣреніи k. Тогда частное будетъ $1 + k\,(t' - t)$ и слѣдовательно формулы (d) и (c) въ этомъ случаѣ остаются тожественны.

II. Кубическое расширеніе твердыхъ тѣлъ. — Расширенія свыше 100°.

145. Измѣреніе коэффиціента кубическаго расширенія. — Когда извѣстенъ коэффиціентъ линейнаго расширенія однороднаго тѣла, то уже легко вычислить коэффиціентъ кубическаго расширенія. И дѣйствительно, возьмемъ кубъ, ребро котораго пусть будетъ единица длины. Кубъ этотъ, слѣдовательно, будетъ единица объема, и если мы увеличимъ его температуру на 1°, то противолежащія плоскости куба раздвинутся на количество равное коэффиціенту линейнаго расширенія, такъ-что, если мы этотъ коэффиціентъ означимъ чрезъ k, то ребро куба будетъ $1 + k$. Объемъ куба, слѣдовательно, будетъ $(1 + k)^3 = 1^3 + 3k + 3k^2 + k^3$. Итакъ увеличеніе единицы объема на 1°, или коэффиціентъ кубическаго расширенія, будетъ $3k + 3k^2 + k^3$; но какъ k составляетъ весьма малую дробь, то k^2 и k^3 могутъ быть отброшены, и коэффиціентъ кубическаго расширенія выразится чрезъ $3k$. Такимъ-образомъ мы можемъ сказать, что *коэффиціентъ кубическаго расширенія равняется тройному коэффиціенту линейнаго расширенія.*

Такимъ же образомъ можно доказать, что *коэффиціентъ расширенія плоскости* равняется *двойному коэффиціенту линейнаго расширенія.*

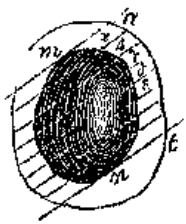
146. Формулы кубическихъ расширеній. Когда извѣстенъ объемъ V тѣла при извѣстной температурѣ t, а также и коэффиціентъ его кубическаго расширенія K, то объемъ этого тѣла V' при другой температурѣ t', вычисляютъ посредствомъ формулъ.

$$V' = V\,\frac{1 + Kt'}{1 + Kt}, \text{ или } V' = V\,[1 + K\,(t' - t)],$$

которыя доказываются такимъ же образомъ, какъ формулы линейныхъ расширеній (144)

147. Расширеніе оболочекъ. Предъидущія формулы примѣняются къ измѣненіямъ емкости сосудовъ, подвергнутыхъ дѣйствіе теплоты. Чтобы доказать это, достаточно будетъ показать, что пространство, заключенное въ твердой оболочкѣ изъ однороднаго вещества, увеличивается въ той же мѣрѣ, какъ объемъ твердой массы которая бы наполняла это пространство и состояла бы изъ того же вещества, какъ и оболочка. Пусть будутъ ma и nt (фиг. 77), двѣ параллельныя плоскости, касательныя къ внутренней поверхности сосуда. Раздѣлимъ стѣнку сосуда на тонкіе слои, посредствомъ плоскостей параллельныхъ къ обѣимъ касательнымъ плоскостямъ. При нагрѣваніи сосуда, слои α, β, γ . . . . будутъ расширяться и ограничивающія ихъ плоскости удаляться одна отъ другой на количества пропорціональныя толщинамъ слоевъ Изъ этого слѣдуетъ, что касательныя плоскости ma, nt удалятся одна отъ другой на сумму расширеній слоевъ, т.-е. на количество пропорціональное суммѣ толщинъ этихъ слоевъ, или на количество равное тому, на которое удалились бы одна отъ другой плоскости ma и nt, еслибы онѣ составляли касательныя къ твердой массѣ наполняющей этотъ сосудъ и къ наружной поверхности которой принадлежали бы точки m и n. Такъ-какъ разсужденіе это не зависитъ отъ направленія, даннаго плоскостямъ ma, nt, то изложенный нами законъ должно считать доказаннымъ.

фиг. 77.



Доказательство расширенія оболочекъ, посредствомъ опыта.— Изъ вышесказаннаго слѣдуетъ, что наружный объемъ оболочки увеличивается такъ, какъ-будто бы внутренней пустоты вовсе не существовало, увеличеніе это можетъ быть доказано посредствомъ кольца Сгравсанда. Увеличеніе ёмкости во время расширенія оболочки, можетъ быть также доказано посредствомъ слѣдующаго опыта: въ горячую воду погружаютъ стеклянный шаръ (фиг. 78) наполненный жидкостью, занимающею часть волосной трубки, придѣланной къ шару. Въ первую минуту поверхность жидкости въ трубкѣ понижается, впослѣдствіи же она вновь поднимается и переходитъ за черту

фиг. 78.

первоначальнаго своего положенія. Явленіе это, остававшееся долгое время загадкою для ученыхъ, было объяснено Амонтономъ; теплота дѣйствуетъ сперва на твердую оболочку и, расширяя ее увеличиваетъ ея ёмкость, вслѣдствіе чего понижается уровень, но потомъ, когда теплота проникаетъ въ жидкость, то эта послѣдняя начинаетъ въ свою очередь расширяться и уровень жидкости, по причинѣ большей расширяемости жидкостей вообще, поднимаясь переходитъ вскорѣ за предѣлы первоначальнаго своего положенія

118 Непосредственное измѣреніе кубическаго расширенія. Указанный нами способъ перехода отъ коэффиціента линейнаго расширенія къ кубическому представляетъ то неудобство, что погрѣшность, сдѣланная въ измѣреніи перваго, еще множится на 3. Поэтому было бы лучше, измѣрять непосредственно коэффиціентъ кубическаго расширенія и изъ него уже выводить коэффиціентъ линейнаго, такъ-какъ погрѣшность въ этомъ случаѣ напротивъ раздѣлится на 3. Дюлонгъ и Пти придумали поэтому способъ, основанный на знаніи коэффиціента *абсолютнаго расширенія* ртути, предварительно найденнаго ими путемъ изложеннымъ ниже (161).

Отношеніе между абсолютнымъ и кажущимся расширеніями жидкости. Опредѣленіе этого отношенія основано также на простомъ отношеніи между коэффиціентомъ абсолютнаго расширенія ртути, коэффиціентомъ расширенія твердой оболочки, содержащей ртуть, и *кажущимся расширеніемъ* этой жидкости, т.-е. наблюдаемымъ увеличеніемъ ея объема въ сосудѣ, не принимая въ разсчетъ увеличенія его ёмкости. И въ-самомъ-дѣлѣ, положимъ, что ртуть заключается въ термометрической трубкѣ, коэффиціентъ кубическаго расширенія которой назовемъ K; пусть v будетъ объемъ занимаемый ртутью при 0° и v' объёмъ выраженный дѣленіемъ трубки при 1°; чрезъ D означимъ коэффиціентъ абсолютнаго расширенія ртути, и Δ коэффиціентъ ея кажущагося расширенія. Дѣйствительный объемъ, занимаемый ртутью, будетъ $v'(1+K)$, потому-что къ объему v', который наблюдается на трубкѣ, должно еще прибавить количество, на которое расширится оболочка при повышеніи температуры на 1° Такъ-какъ v составляетъ объемъ ртути при 0°, то при повышеніи температуры на 1°, получимъ равнымъ-образомъ $v(1+D)$ для выраженія объема при 1°. Составивъ изъ этихъ величинъ уравненіе, получимъ:

$$v'(1+K) = v(1+D), \text{ откуда } \frac{v'-v}{v} = D - \frac{v'}{v}K,$$

если мы раздѣлимъ всѣ члены на v. А какъ v' весьма мало разнится отъ v, то отношеніе ихъ, по причинѣ незначительности числа K, можно безъ особенной погрѣшности принять за единицу. Сверхъ-того $v'-v$: v изображаетъ коэффиціентъ кажущагося расширенія Δ ртути, потому-что это есть кажущееся расширеніе единицы ртути для 1°. Итакъ получимъ:

$$\text{(e} \qquad \Delta = D - K, \text{ или } D = \Delta + K.$$

Слѣдовательно, коэффиціентъ абсолютнаго расширенія жидкости равняется коэффиціенту ея кажущагося расширенія съ присовокупленіемъ коэффиціента кубическаго расширенія оболочки содержащей жидкость.

Коэффиціентъ стекла. Доказавъ это, и предполагая извѣстнымъ коэффиціентъ абсолютнаго расширенія ртути, достаточно для полученія K, измѣрить величину Δ. Мы уже знаемъ (18 два различные способа для измѣренія коэффиціента кажущагося расширенія Δ ртути въ стеклѣ между прочимъ посредствомъ вѣсоваго термометра. Послѣдній этотъ способъ служилъ также Дюлонгу и Пти для измѣренія коэффиціента кубическаго расширенія стекла. Способъ этотъ они пытались также примѣнить къ желѣзу, давъ ему предварительно видъ резервуара съ узкою трубкою; но въ этомъ случаѣ опытъ оставляетъ нѣкоторое сомнѣніе, такъ-какъ невидно, не остается ли въ трубкѣ нѣсколько воздуха. Дюлонгъ и Пти придумали поэтому слѣдующій способъ, основанный на знаніи коэффиціента стекла.

149. Общая метода измѣренія кубическаго расширенія твердыхъ тѣлъ. - Испытуемое тѣло помѣщается въ стеклянную трубку отъ 5 до 6 дециметровъ длины и открытый конецъ трубки вытягиваютъ на лампѣ подобно тому, какъ у вѣсоваго термометра. При этомъ необходимо, чтобы испытуемое тѣло имѣло на поверхности нѣсколько остроконечныхъ выступовъ, дабы оно только въ нѣсколькихъ точкахъ прикасалось къ стѣнкамъ трубки (фиг. 79). Трубку наполняютъ ртутью, высушенною посредствомъ кипяченія, и потомъ во время охлажденія погружаютъ открытый конецъ трубки въ

фиг. 79

сухую ртуть. Снарядъ такимъ-образомъ наполненный ртутью, при температурѣ окружающаго воздуха, взвѣшиваютъ и располагаютъ горизонтально въ ваннѣ наполненной масломъ, постоянно мѣшаемымъ для сообщенія ему повсюду совершенно однообразной температуры. Температура масла можетъ быть доведена до 300°. Когда температура масла сдѣлается постоянною, измѣряютъ ее посредствомъ песоваго термометра, помѣщеннаго возлѣ снаряда, и взвѣшиваютъ ртуть вышедшую чрезъ вытянутый конецъ снаряда пропущенный внаружу сквозь стѣнку ванны. Чтобы получить изъ этого опыта коэффиціентъ расширенія тѣла, составляютъ уравненіе, выражающее, что объемъ стекляннаго резервуара, при температурѣ до которой онъ былъ доведенъ во время опыта, равняется расширенному объему *оставшейся* ртути, съ присоединеніемъ объема расширеннаго тѣла. Пусть t и T будутъ температуры въ началѣ и въ концѣ опыта, и назовемъ чрезъ θ возвышеніе температуры $T-t$; кромѣ-того, пусть P будетъ вѣсъ тѣла и d его плотность при t°,— P' вѣсъ ртути, содержащейся въ снарядѣ при t° и d' ея плотность при той же температурѣ. Объемъ тѣла и объемъ ртути при t°, будутъ, $\frac{P}{d}$ и $\frac{P'}{d'}$ и объемъ стекляннаго резервуара при той же температурѣ будетъ равняться суммѣ этихъ объемовъ $\frac{P}{d}+\frac{P'}{d'}$. Наконецъ пусть будутъ x, D и K коэффиціенты кубическаго расширенія тѣла, ртути и стекла. Такъ-какъ объемъ ртути, оставшеися въ резервуарѣ подъ конецъ опыта, при t°, будетъ $\frac{P'-p}{d'}$, то получимъ

$$\left(\frac{P}{d}+\frac{P'}{d'}\right)(1+K\theta)=\frac{P'-p}{d'}(1+D\theta)+\frac{P}{d}(1+x\theta),$$ откуда выйдетъ:

$$\frac{p}{d'}(1+D\theta)=\frac{P}{d}x\theta+\frac{P'}{d'}D\theta-\left(\frac{P}{d}+\frac{P'}{d'}\right)K\theta,$$

уравненіе выражающее, что объемъ вышедшей ртути равняется расширенію тѣла, съ присоединеніемъ къ нему расширенія ртути за вычетомъ расширенія оболочки; потому-что первый членъ представляетъ объемъ вышедшей ртути, приведенной къ плотности $\frac{d'}{1+D\theta}$, соотвѣтствующей температурѣ T. Уравненіе это впрочемъ можно было и съ самаго начала составить въ полученномъ нами послѣднемъ видѣ. Изъ уравненія этого извлекаютъ величину x.

Дюлонгъ и Пти измѣрили посредствомъ этого способа коэффиціентъ кубическаго расширенія *желѣза, платины и мѣди.* Но какъ послѣднее изъ этихъ веществъ измѣняется отъ дѣйствія ртути, то поверхность его была слегка окислена.

150. Расширенія свыше 100°.—Посредствомъ различныхъ этихъ способовъ, Дюлонгъ и Пти доказали, что для одного и того же возвышенія температуры расширеніе твердыхъ тѣлъ постоянно до 100°, но что свыше 100° равномѣрность эта прекращается, и что при переходѣ отъ t° къ $(t+1)^\circ$, степень расширяемости увеличивается съ увеличеніемъ температуры t, показанной воздушнымъ термометромъ. Для бо́льшей наглядности этихъ результатовъ, Дюлонгъ и Пти вычислили посредствомъ формулы $L' = L(1 + k\tau$ (144) температуры τ, соотвѣтственно удлиненіямъ пластинокъ изъ различныхъ веществъ, въ формулѣ этой k предполагается постоянною, равняющеюся величинѣ найденной ниже 100°, а L' получается изъ опыта при температурѣ τ, взятой по воздушному термометру Нижеслѣдующая таблица показываетъ коэффиценты K кубическаго расширенія стекла, желѣза, мѣди и платины, и въ столбцѣ возлѣ помѣщены температуры, отнесенныя къ температурамъ воздушнаго термометра и которыя были бы показаны термометрами, основанными на линейныхъ расширеніяхъ испытуемыхъ веществъ, въ предположеніи, что эти расширенія постоянны, т.-е. совершаются равномѣрно для каждаго градуса

Температура воздушнаго термометра.	Стекло		Желѣзо.		Мѣдь.		Платина.	
	K	τ	K	τ	K	τ	K	τ
100°	$\frac{1}{38700}$	100°	$\frac{1}{28200}$	100°	$\frac{1}{19401}$	100°	$\frac{1}{37100}$	100°
200°	$\frac{1}{36300}$	213,2	—	—	—	—	—	—
300°	$\frac{1}{32900}$	352,9	$\frac{1}{22700}$	372,6	$\frac{1}{17700}$	328,8	$\frac{1}{36300}$	311,6

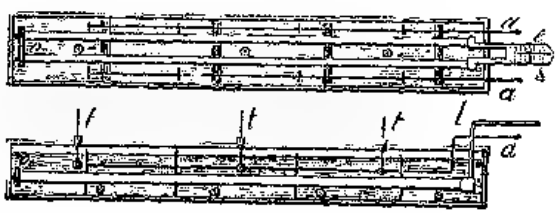
Средніе коэффиціенты *линейнаго расширенія* тѣхъ же веществъ будутъ въ этомъ случаѣ слѣдующіе:

	Средній коэффиціентъ линейнаго расширенія между 0° и 100°.	*Коэффиціентъ* между 0° и 200°	*Коэффиціентъ* между 0° и 300°.
Платина . . .	0,000 008 842	» »	0,0000 09 183
Стекло	» 8 613	0 000 009 225	» 10 108
Желѣзо . .	» 11 821	» »	» 14 684
Мѣдь	» 17 182	» »	» 18 832

Итакъ мы видимъ, что расширяемость твердыхъ тѣлъ, отнесенная къ воздушному термометру, возрастаетъ свыше 100°, и что возрастаніе это совершается для каждаго вещества различнымъ образомъ. Результатъ этотъ подтверждается также другими опытами Дюлонга и Пти, еще прежде ими произведенными *, для сравненія линейныхъ расширеній твердыхъ тѣлъ, по способу Борда (Borda); по этому способу заключаютъ по расширенію какого-либо вещества, найденному непосредственно изъ опыта о расширеніи какого-либо другаго вещества

151. Сравненіе расширеній двухъ полосъ.— Способъ, о которомъ здѣсь идетъ рѣчь, представляетъ ту выгоду, что онъ не требуетъ точекъ совершенно неподвижныхъ Снарядъ (фиг 80, состоитъ изъ двухъ линеекъ, сдѣланныхъ изъ сравниваемыхъ веществъ и имѣющихъ около 1 метра длины; линейки эти на одномъ концѣ связаны между собою посредствомъ желѣзнаго бруска O, къ которому они прикрѣплены посредствомъ винтовъ. Къ другому концу линеекъ придѣланы стержни изъ латуни l, идущіе сперва вертикально и согнутые потомъ въ горизонтальномъ направленіи На одномъ изъ стержней находится масштабъ e, дѣленія котораго составляютъ пятыя доли миллиметра; на другомъ же стержнѣ вернье́ръ, показывающій двадцатыя доли этихъ дѣленій. Линейки по-

Фиг. 80



* Annales de chimie et de physique, 2 série, t. II p. 254.

коются на катках, находящихся на дне сосуда, наполненнаго маслом, которое приводится въ движеніе помощью двухъ мешалокъ съ лопатками a, a, a' расположенныхъ по обѣимъ сторонамъ линеекъ. Термометръ, помѣщенный между линейками, показываетъ ихъ температуру, другіе термометры t, t, t, прикрѣпленные къ крышкѣ ванны, служатъ для повѣрки.

Когда температура достигнетъ приблизительно той высоты, при которой хотятъ дѣлать наблюденіе, тогда закрываютъ всѣ отверстія печи изъ кирпичей, на которой расположенъ сосудъ, и температура остается постоянною отъ 10 до 12 минутъ, впродолженіи которыхъ наблюдаютъ температуры и замѣчаютъ количество пройденное нулемъ верньера относительно дѣленія, съ которымъ онъ совпадалъ, когда температура бани равнялась температурѣ окружающаго воздуха. Количество это представляетъ излишки расширенія одной линейки передъ другою. Зная, слѣдовательно, абсолютное расширеніе одной изъ нихъ, можно будетъ вывесть абсолютное расширеніе другой, а посредствомъ формулы (145) перейти къ кубическому расширенію испытуемыхъ веществъ.

Подобное расположеніе двухъ линеекъ составляетъ также особеннаго рода термометръ, градусъ котораго соотвѣтствуетъ сотой доли относительнаго перемѣщенія нуля верньера, при переходѣ температуры отъ 0° до 100°. Сравнивая показанія этого рода термометра съ показаніями воздушнаго, Дюлонгъ и Пти нашли что до 100° показанія между обоими термометрами согласны; но что свыше 100° обнаруживаются разности, которыя увеличиваются съ возвышеніемъ температуры. При полосахъ изъ платины и мѣди, показанная температура была 320°, предполагая расширенія этихъ металловъ однообразными, въ то время какъ ртутный термометръ показывалъ 310°, а воздушный 300°.

152. Расширеніе стекла.—Весьма важно было изслѣдовать въ особенности расширеніе стекла, какъ употребляемаго въ большомъ числѣ опытовъ. Дюлонгъ и Пти, связавъ, подобно тому какъ показано выше, линейку изъ мѣди съ линейкою изъ стекла, нашли изъ произведенныхъ ими опытовъ, что свыше 100° расширеніе стекла возрастаетъ гораздо быстрѣе нежели расширеніе металловъ.

Числа найденныя различными учеными, изъ коихъ слѣдуетъ упомянуть Гельстрема, Депрé, Рудберга, Магнуса и Пьера, для выраженія коэффиціента стекла, несогласны между собою, даже между 0° и 100°. Обстоятельство это, во-первыхъ, зависитъ отъ различія въ

химическомъ составѣ стеколъ, употребленныхъ при опытахъ. Кромѣ-того и для одного и того же стекла расширяемость еще зависитъ отъ способа его выдѣлки. Результатъ этотъ, найденный Реньо *), можно видѣть въ нижеслѣдующей таблицѣ, въ которой собраны числа, показывающія полныя расширенія различныхъ родовъ стекла между 0° и 100°.

	Въ трубкахъ.	Въ видѣ пустыхъ шаровъ различныхъ діаметровъ.			
	Расширеніе.	Діаметръ.	Расширеніе	Діаметръ.	Расширеніе.
Стекло бѣлое	0,002 648	46мм	0,002 592	33мм	0,002 514
Стекло зеленое . . .	0,002 299	36	0,002 132	»	»
Стекло шведское . .	0,002 363	34	0,002 441	32	0,002 411
Неплавкое французское стекло	0,002 142	32	0,002 242	»	»
Обыкновенный хрусталь	0,002 101	30	0,002 330	»	»

Таблица эта показываетъ, что расширяемость стекла увеличивается или уменьшается отъ приготовленія его или въ видѣ трубокъ, или же въ видѣ пустыхъ шаровъ. Шары наибольшаго діаметра и съ болѣе тонкими стѣнками, повидимому, расширяются болѣе другихъ. Изъ этого слѣдуетъ, что въ случаяхъ, гдѣ требуется большая точность, надлежитъ измѣрять непосредственно расширеніе употребляемаго при опытѣ стекляннаго сосуда; къ стеклу по этому никогда не слѣдуетъ примѣнять формулы, показанныя въ статьяхъ 144 и 146, ибо независимо отъ вліянія способа выдѣлки сосуда, надобно еще замѣтить, что и самыя стѣнки могутъ быть не однородны.

Наконецъ Реньо также доказалъ, что коэффиціентъ одного и того же стекляннаго снаряда не всегда остается тожественнымъ между

*) Annales de chimie et de physique, 3-e série, t. IV.

одними и тѣми же предѣлами температуры, если снарядъ подвергаютъ дѣйствію весьма различныхъ температуръ. Эти измѣненія въ свойствахъ стекла принадлежатъ къ причинамъ обусловливающимъ измѣненіе положенія нуля въ термометрахъ (20).

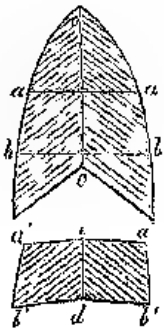
153. Расширеніе льда. — Для объясненія нѣкоторыхъ явленій, замѣчаемыхъ наприм. въ глечерахъ, необходимо знать измѣненія въ объемѣ испытываемыхъ льдомъ при перемѣнѣ температуры. Было время, что сомнѣвались въ сжимаемости льда отъ холода, и Петцольдъ (Petzholdt) даже полагалъ, что вещество это расширяется по мѣрѣ охлажденія. Но опыты произведенные Бруннеромъ сыномъ, равно какъ и опыты произведенные на Пулковской обсерваторіи, показали, что вещество это въ отношеніи расширяемости подчиняется тѣмъ же законамъ, какъ и прочія твердыя тѣла. Бруннеръ измѣрялъ плотность льда, при различныхъ температурахъ, посредствомъ потери вѣса испытываемой льдомъ въ нефти Плотность этой жидкости относительно воды, при различныхъ температурахъ опыта, опредѣлялась въ то же время потерею вѣса массою стекла, приводимою всегда къ одному и тому же объему, по способу повѣрки, который мы разсмотримъ далѣе 167) Ледъ употребленный при опытѣ не содержалъ вовсе пузырьковъ воздуха. Бруннеръ нашелъ такимъ-образомъ для средняго коэффиціента линейнаго расширенія льда, между 0° и —6°, число 0,0000375. Въ Пулковѣ опредѣлили этотъ коэффиціентъ, между — 1 и —27°, = 0,0000518 Сжатіе льда отъ холода, слѣдовательно, гораздо значительнѣе, чѣмъ сжатіе прочихъ твердыхъ тѣлъ, ибо коэффиціентъ для цинка, расширяющагося болѣе другихъ металловъ, составляетъ только 0,000031.

154. Для опредѣленія отношенія между коэффиціентомъ линейнаго расширенія и коэффиціентомъ расширенія кубическаго, мы приняли, что твердое тѣло расширяется во всѣ стороны въ равномъ количествѣ Правило это въ дѣйствительности имѣетъ мѣсто для тѣлъ однородныхъ Кристаллы, напротивъ, не подчиняются этому правилу, и несмотря на незначительную величину этихъ тѣлъ, Мичерлиху Mitscherlich удалось замѣтить, въ кристаллѣ исландскаго шпата ромбоэдрической формы, что расширеніе по направленію наименѣшей діагонали болѣе, чѣмъ по всѣмъ другимъ направленіямъ Результатъ этотъ былъ полученъ посредствомъ измѣренія угловъ смежныхъ плоскостей, что можетъ быть сдѣлано съ бо́льшею точностью посредствомъ оптическаго гониометра. Отъ 0° до 100° углы уменьшаются на 8′,5. Въ кристаллахъ симметрически расположен-

ныхъ вокругъ одной точки, расширеніе бываетъ одно и то же во всѣ стороны, подобно тому, какъ въ тѣлахъ однородныхъ. Въ кристаллахъ симметрически расположенныхъ вокругъ одной оси, расширеніе по направленію этой оси и по направленію перпендикулярному къ ней, не будетъ одно и то же, но расширеніе будетъ то же по направленію обоихъ осей, перпендикулярныхъ къ симметрической оси кристалловъ. Наконецъ въ кристаллахъ, не расположенныхъ симметрически вокругъ одной и той же оси, расширеніе совершается различно по направленію трехъ кристаллографическихъ осей. Мичерлихъ полагаетъ, что теплота наиболѣе раздвигаетъ частицы кристалла въ томъ направленіи, въ которомъ они болѣе всего между собою сближены.

Неодинаковость расширенія по различнымъ направленіямъ можно легче всего видѣть на видоизмѣненіи сѣрнокислой извести, извѣстной подъ названіемъ *чечевицеобразнаго* или *копьевиднаго* гипса, состоящаго изъ закругленныхъ незаконченныхъ кристалловъ, такъ-что вся масса представляетъ форму чечевицы. Часто случается, что двѣ чечевицы такимъ-образомъ между собою соединены, что онѣ какъ-бы проникаютъ одна въ другую, — въ этомъ случаѣ отъ нихъ легко отдѣлять куски, имѣющіе видъ копья (фиг. 81). Если изъ подобнаго куска мы вырѣжемъ пластинку $abba$, ограниченную двумя полированными поверхностями aa, bb, перпендикулярными къ линіи oo' и возвысимъ температуру этой пластинки до 80° или 100°, то поверхности aa и bb не будутъ болѣе плоскими, а образуютъ углы $a'ca'$, $b'db'$, ибо предметъ, отраженный косвенно на этихъ поверхностяхъ, дастъ два изображенія, тогда-какъ при совершенно плоской поверхности зеркала, можно видѣть только одно изображеніе.

Фиг. 81



Взаключеніе замѣтимъ, что, по мнѣнію Коппа (Корр), нѣкоторые минералы (плавиковый шпатъ, арагонитъ, сѣрнокислый баритъ, целестинъ, кварцъ) расширяются болѣе, нежели металлы, противно тому, какъ это обыкновенно принимаютъ.

III. Примѣненіе расширенія твердыхъ тѣлъ.

155. На практикѣ приходится часто примѣнять коэффиціенты линейнаго или кубическаго расширенія тѣлъ, наприм. при измѣреніи

удѣльнаго вѣса тѣлъ или при поправкахъ, которымъ слѣдуетъ подвергать показанія барометрической скалы. Мы уже упомянули (138) о нѣкоторыхъ примѣненіяхъ явленія расширенія тѣлъ. При нынѣшнихъ постройкахъ, въ которыхъ часто употребляются столь разнородныя вещества, какъ чугунъ, камень, кирпичъ и т. п., можно было бы опасаться, что отъ неравномѣрнаго расширенія этихъ матеріаловъ могла бы уничтожиться связь между ними, а вмѣстѣ съ тѣмъ и самая прочность зданія. Но опыты Эди Абіе) въ Эдинбургѣ показали, къ-счастію, что коэффиціенты матеріаловъ, обыкновенно употребляемыхъ на постройки, весьма мало разнятся отъ коэффиціента расширенія чугуна, такъ-что, въ предѣлахъ измѣненій температуры атмосферы, разность въ расширеніи этихъ матеріаловъ весьма незначительна.

156. Уравнительный маятникъ.—Время одного колебанія маятника зависитъ отъ длины его. Длина же эта измѣняется вмѣстѣ съ температурою, откуда слѣдуетъ, что часы съ маятникомъ должны отстать, когда тепло, и напротивъ, они должны идти впередъ, когда холодно. Неправильности эти въ-самомъ-дѣлѣ были уже замѣчены задолго до нашего времени. Еще въ 1726 году Грэмъ (Graham) объяснилъ эти неправильности посредствомъ измѣненій температуры, вліяніе которой онъ поэтому старался устранить посредствомъ соединенія двухъ металловъ различной расширяемости. Впослѣдствіи онъ придумалъ расположеніе, которое мы опишемъ ниже, и устроилъ первый *уравнительный маятникъ*; названіе это даютъ маятнику, если время качаній его не измѣняется вмѣстѣ съ измѣненіемъ температуры.

фиг. 82.

Уравнительный маятникъ Грэема. Стержень ab этого маятника состоитъ изъ стекла (фиг. 82), а чечевица замѣнена стеклянным цилиндрическимъ резервуаромъ bc, содержащимъ ртуть. При возвышеніи температуры на t°, длина $ac=l$ расширится на количество lkt, означая чрезъ k коэффиціентъ линейнаго расширенія стекла, и центръ тяжести ртути понизится на то же количество. Столбъ же ртути, расширяясь, поднимается въ сосудѣ bc, и если высота ртути будетъ h, то ея центръ тяжести поднимется на $\frac{h}{2}\cdot\Delta t$, гдѣ Δ кажущееся расширеніе ртути въ стеклѣ. Слѣдовательно, если мы будемъ имѣть $lkt=\frac{h}{2}\Delta t$,

или $lk = \frac{h}{2} \Delta$, то центръ тяжести ртути поднимется вслѣдствіе ея расширенія на столько, на сколько онъ отъ расширенія отекла понижается. Взявъ $k = \frac{1}{10100}$ и $\Delta = \frac{1}{9480}$, получимъ приблизительно $h = \frac{1}{9} l$. Но какъ время качаній не зависитъ отъ положенія центра маятника, а отъ положенія центра качаній, несовпадающаго съ центромъ тяжести, то вышепоказанное уравненіе еще не будетъ совершенно точно. Когда желаютъ достигнуть большой точности, какъ напр. въ астрономическихъ часахъ, тогда внимательно слѣдятъ за ходомъ маятника и прибавляя или убавляя ртути, достигаютъ уже ощупью совершеннаго вознагражденія. Результата этого также можно достигнуть поднимая или опуская, помощью винта b, сосудъ содержащій ртуть.

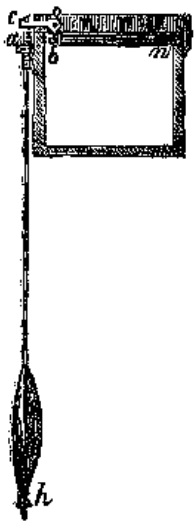
Уравнительный маятникъ Леруа (Leroy). Описанное нами расположеніе однако рѣдко употребляется. Знаменитый французскій часовой мастеръ Леруа замѣнилъ его въ 1738 г. совершенно металлическимъ маятникомъ (фиг. 83). На неподвижной перекладинѣ утвержде-

фиг. 83.

на латунная цилиндрическая трубка cc, въ верхней части которой прикрѣплена желѣзная полоса ff'; наружная часть f' этой полосы, образуетъ стержень маятника. Части f и f' соединены между собою посредствомъ двойной пластинки изъ тонкой и гибкой стали; пластинка эта можетъ свободно двигаться въ разрѣзѣ, сдѣланномъ въ неподвижной перекладинѣ. Края разрѣза образуютъ ось привѣса маятника. При возвышеніи температуры, латунный цилиндръ расширяется и поднимаетъ маятникъ, но въ то же время удлиняются полосы f и f', послѣдствіе чего опускается чечевица, и если расширенія мѣди и желѣза будутъ одинаковы, то разстояніе отъ центра тяжести маятника до разрѣза или до оси привѣса не измѣнится. Означимъ чрезъ f и f' длины желѣзныхъ стержней и чрезъ c длину латуннаго цилиндра, чрезъ k и k' коэффиціенты расширенія желѣза и мѣди. Надлежитъ имѣть $(f+f')k = ck'$; а какъ k составляетъ почти $\frac{2}{3} k'$, то слѣдовательно латунный цилиндръ долженъ имѣть почти $\frac{2}{3}$ всей длины желѣза или двойную длину f'. Вознагражденіе достигается окончательно ощупью, чрезъ передвиженіе чечевицы посредствомъ находящагося подъ нею винта. Устройство это было впрочемъ вскорѣ оставлено, ибо оно значительно увеличивало размѣръ часовъ.

Описанный механизмъ впослѣдствіи былъ замѣненъ другимъ, въ которомъ стальныя пластинки поднимаются въ разрѣзѣ, представляющемъ ось привѣса, не увеличивая однако вышины часовъ. Гибкія стальныя пластинки, поддерживающія маятникъ (фиг. 84), проходятъ сквозь разрѣзъ, сдѣланный въ части *a* и прикрѣпляются къ колѣнчатому рычагу *cob*, котораго плечо *ob* упирается въ металлическую полосу *nb*. Полоса эта, расширяясь, приводитъ въ движеніе рычагъ и поднимаетъ точку *c*, уравнивая такимъ-образомъ длину маятника. Если мы чрезъ *L* означимъ длину *ah*, а чрезъ *l* длину *nb*; если *k* и *k'* коэффиціенты расширенія металловъ, изъ которыхъ состоятъ стержень маятника и полоса *nb*, то для уравненія длины необходимо, чтобы $Lk = lk' \frac{ob}{oc}$. Окончательно маятникъ уравниваютъ чрезъ перемѣщеніе чечевицы или же чрезъ измѣненіе, помощью винта, разстоянія отъ оси *o* точки *b*, на которую дѣйствуетъ полоса *nb*

Фиг. 84.

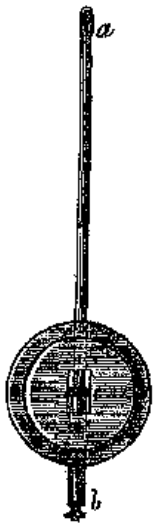


Леруа (Leroy) устроилъ также уравнительный маятникъ изъ двухъ стержней, стальнаго *aI* и мѣднаго *cc'*, упирающагося въ маленькій выступъ, находящійся въ точкѣ *c* (фиг. 85) Стержни эти, равно какъ и стержень поддерживающій чечевицу, связаны съ рычагомъ *c'o*. Очевидно, что стержень *cc'* расширяясь, понизитъ точку *c'* и слѣдовательно приподниметъ точку *o*, а вмѣстѣ съ нею чечевицу, тогда-какъ расширеніе стальнаго стержня понизитъ всю систему Маятникъ этотъ, изобрѣтателемъ котораго, какъ кажется, былъ также и Грезмъ, имѣетъ то неудобство, что движенія его испытываютъ внезапныя неправильности.

Фиг. 85.

Въ 1812 г. Рейдъ (Reid) придумалъ слѣдующее устройство уравнительнаго маятника: на нижнюю оконечность стальнаго стержня *ab* (фиг. 86) опирается цинковая трубка *bc*, охватывающая этотъ стержень. Чечевица прикрѣплена къ верхней части трубки и поднимается

Фиг. 86.



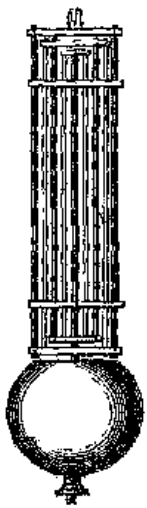
вмѣстѣ съ расширеніемъ этой послѣдней, но въ то же время чечевица понижается вслѣдствіе расширенія стержня ab.

Маятникъ Генри Робёра (Henri Robert) гораздо проще (фиг. 87); нижняя оконечность платиноваго стержня поддерживаетъ широкую чечевицу изъ цинка. Центръ тяжести этой чечевицы останется всегда на одномъ и томъ же разстояніи отъ точки привѣса, если расширеніе платиноваго стержня равняется расширенію радіуса цинковой чечевицы, равенство имѣющее мѣсто, когда радіусъ чечевицы составляетъ около одной трети длины стержня.

фиг. 87.

Маятникъ съ рамою Уравнительный маятникъ наиболѣе употребительный былъ придуманъ Гаррисономъ (I. Harrisson, нѣсколько времени спустя послѣ изобрѣтенія Грезма. Точка привѣса этого маятника находится посрединѣ поперечнаго бруска (фиг 88), къ оконечностямъ котораго придѣланы два железные прута, соединенные въ нижнихъ концахъ поперечною перекладиною. На этой перекладинѣ утверждены два прута изъ латуни, соединенные вверху перекладиною, къ которой прикрѣплены два другіе прута изъ желѣза. Эти послѣдніе поддерживаютъ въ свою очередь опять два прута изъ латуни, соединенные вверху такимъ же брускомъ, въ верхней части которыхъ привѣшивается наконецъ желѣзный стержень поддерживающій чечевицу. Въ перекладинахъ сдѣланы отверстія, въ которыхъ свободно скользятъ неукрѣпленные концы прутьевъ, и наконецъ весь снарядъ скрѣпленъ посредствомъ двухъ поперечныхъ связей.

фиг. 88.

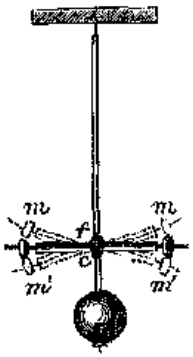


Очевидно, что расширеніе латунныхъ стержней должно приподнимать чечевицу, тогда-какъ расширеніе желѣзныхъ ее напротивъ понижаетъ. Для того, чтобы центръ тяжести оставался на одномъ и томъ же разстояніи отъ точки привѣса, необходимо, чтобы $(f+f'+F)k = (c+c')k'$, гдѣ f и f' означаютъ длину желѣзныхъ прутьевъ, c и c' длину латунныхъ паръ и F длину желѣзнаго стержня, поддерживающаго чечевицу. Принимая f и f' равными c и c', что приблизительно вѣрно, получимъ $(c+c'\left(\frac{k'}{k}-1\right)=F$. Но $\frac{k'}{k}$ почти $=\frac{5}{3}$ такъ

что длина F маятника приблизительно равна $\frac{2}{3}$ величины $c+c'$. Но вычисленіе это даетъ только предварительное приближеніе, потому-что центръ тяжести чечевицы далеко не совпадаетъ съ центромъ тяжести маятника и ктому же точка эта не совпадаетъ, даже приблизительно, съ центромъ качанія маятника. Поэтому для достиженія совершеннаго уравненія, чечевица приводится въ надлежащее положеніе посредствомъ находящагося подъ нею винта. Еслибы мы взяли только два латунные прута, а слѣдовательно три желѣзные, то длина первыхъ долженствовала бы составлять $\frac{3}{2}F$, или $F+\frac{1}{2}F$; тогда латунные прутья выходили бы за предѣлы оси привѣса.

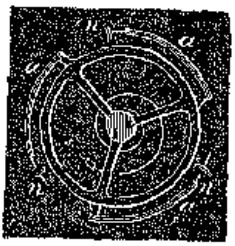
157. Уравнительныя пластинки. — Некто Мартенъ (Martin), часовой мастеръ, придумалъ особенный способъ для уравненія расширенія маятника. Двѣ различныя металлическія пластинки, спаянныя по всей своей длинѣ, прикрѣпляются при c поперечно къ стержню маятника (фиг. 89). Если наиболѣе расширяющаяся пластинка находится снизу, то, при возвышеніи температуры, пластинки сгибаются по линіи $m'cm$, приподнимая массы m, m, находящіяся по концамъ этой двойной пластинки. Если, напротивъ, температура понижается, то пластинки сгибаются по линіи $m'cm'$. Массы m, m могутъ перемѣщаться вдоль винтовъ; перемѣщая ихъ, болѣе или менѣе, приходятъ наконецъ ощупью къ тому, что разстояніе между ними вполнѣ уравниваетъ дѣйствіе расширенія маятника.

Фиг. 89.



Уравнительный маятникъ хронометровъ. Подобное соединеніе пластинокъ употреблялось съ давнихъ поръ для уравнительныхъ маятниковъ въ хронометрахъ. Извѣстно, что равномѣрность движенія въ этихъ весьма точныхъ машинахъ достигается посредствомъ колеса, или маятника, снабженнаго спиральною пружиною (фиг. 90), и что время качаній этого колеса зависитъ отъ силы пружины, отъ массы составляющей его ободъ и отъ величины его радіуса. Съ возвышеніемъ температуры радіусъ этотъ увеличится и хронометръ будетъ отставать. Для отвращенія этого дѣйствія, слѣдуетъ приблизить къ оси часть массы

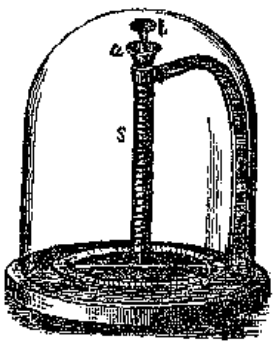
Фиг. 90



маятника, что достигается слѣдующимъ образомъ: къ наружной сторонѣ колеса прикрѣпляются пластинки a, a, a, составленныя изъ двухъ металловъ, припаянныхъ одинъ къ другому и такъ, что наиболѣе расширяющійся металлъ находится снаружи. Каждая изъ этихъ пластинокъ оканчивается винтомъ, на которомъ насажена небольшая масса n. Такимъ-образомъ, когда теплота увеличиваетъ радіусъ колеса, то вслѣдствіе различной расширяемости металловъ, составляющихъ пластинки, массы n, n, n приближаются къ оси. Кромѣ-того, перемѣщая болѣе или менѣе массы вдоль винтовъ, даютъ имъ такія положенія, что они на столько будутъ приближаться къ оси, на сколько это необходимо для совершеннаго уравненія дѣйствія, производимаго расширеніемъ маятника.

158. Металлическіе термометры. — Бреге (A. Breguet) устроилъ термометрическій снарядъ, основанный на употребленіи уравнительныхъ пластинокъ. Для этого спаиваютъ три пластинки изъ платины золота и серебра, причемъ золотая пластинка помѣщается между двумя остальными. Пропустивъ спаянныя такимъ-образомъ пластинки сквозь плющильный станокъ, вырѣзываютъ изъ полученнаго этимъ способомъ листа узенькую полосу и свертываютъ ее въ спираль, наблюдая, чтобы при этомъ серебро было обращено впаружу. Такая спираль s привѣшивается въ вертикальномъ положеніи, какъ это видно на фиг. 91-й и къ нижней ея оконечности прикрѣпляется горизонтальная стрѣлка, двигающаяся по кругу съ дѣленіями. При возвышеніи температуры, отъ большаго расширенія серебра, уменьшается діаметръ каждаго оборота спирали, слѣд. и стрѣлка измѣняетъ свое положеніе. Чтобы получить величину одного градуса на раздѣленномъ кругѣ, подвергаютъ снарядъ дѣйствію двухъ различныхъ температуръ t и t', взятыхъ по ртутному термометру и разстояніе между обоими положеніями стрѣлки дѣлятъ на число $t-t'$ равныхъ частей, при этомъ способѣ предполагаютъ, что уклоненія пропорціональны температурамъ. Кольцо a, поддерживающее спираль s, можетъ вращаться во втулкѣ подставки, на которой оно покоится, такъ-что до опыта стрѣлка всегда можетъ быть поставлена на нуль. Спа-

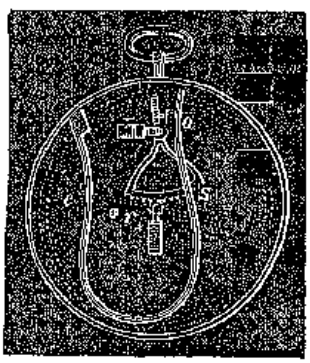
фиг. 91.



рядъ этотъ до того чувствителенъ, что достаточно нагрѣть въ рукѣ стержень t и помѣстить его потомъ въ ось спирали, чтобы отклонить стрѣлку на нѣсколько дѣленій. Стержень служитъ для предохраненія спирали отъ колебаній при переноскѣ снаряда Термометръ Бреге въ-особенности полезенъ при опредѣленіи быстрыхъ перемѣнъ температуры; незначительность его массы споспѣшествуетъ быстрому возстановленію равновѣсія между его температурою и измѣряемою.

Металлическому термометру даютъ еще другую форму, дѣлающую его чрезвычайно удобопереносимымъ. Тройная пластинка сгибается въ видъ буквы U (фиг. 92); одна изъ оконечностей пластинки утверждается неподвижно, а другая упирается, въ точкѣ o, въ рычагъ перваго рода, противоположное плечо котораго имѣетъ видъ зубчатаго сектора s, центръ котораго составляетъ точку опоры рычага. Секторъ этотъ приводитъ въ движеніе зубчатую шестерню, на которой находится стрѣлка двигающаяся по циферблату. Свернутая въ спираль пружина r, утвержденная въ одномъ концѣ и прикрѣпленная другимъ концомъ къ шестернѣ, служитъ для того, чтобы рычагъ производилъ въ точкѣ o постоянное давленіе на пластинку U. Пластинка эта, расширяясь болѣе или менѣе, принимаетъ различныя кривизны и приводитъ въ движеніе стрѣлку. Дѣленія на этомъ снарядѣ назначаются подобно тому, какъ и на предъидущемъ

Фиг. 92.



Термометръ Борда (Borda). Во время работъ, произведенныхъ для градуснаго измѣренія во Франціи, необходимо было измѣрить базисъ между Меленъ и Льерсэнъ (Melun, Lieursaint). Для этой цѣли Борда почиталъ необходимымъ имѣть точный масштабъ, котораго расширенія могли бы быть съ точностью вычисляемы. Линейку эту Борда вздумалъ устроить такимъ-образомъ, чтобы она сама показывала среднюю температуру различныхъ своихъ частей, которыя могли быть неодинаково нагрѣты, по причинѣ или близости лицъ производившихъ работу, или же отъ прикосновенія ихъ къ линейкѣ. Линейка была изъ платины и имѣла 12 футовъ длины. Одинъ изъ ея концовъ былъ прикрѣпленъ къ мѣдной линейкѣ, расположенной надъ нею нѣсколько ея короче (фиг. 93), и имѣвшей на другомъ концѣ верньеръ, который могъ скользить вдоль дѣленій едѣ-

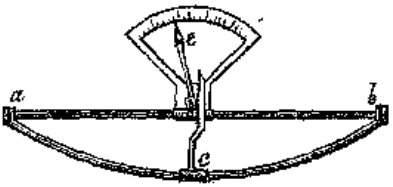
ланныхъ на платиновой линейкѣ, величина этихъ дѣленій составляла тысячныя доли этой послѣдней. Съ измѣненіемъ температуры нуль верньера скользилъ по дѣленіямъ, такъ-какъ мѣдь расширяется больше платины. Микроскопъ служилъ для болѣе удобнаго различенія совпаденій верньера съ дѣленіями линейки. Погрузивъ снарядъ сперва въ тающій ледъ, а потомъ въ весьма горячую воду, температура которой была опредѣлена посредствомъ термометровъ, получали дѣленія, соотвѣтствовавшія этимъ двумъ температурамъ, послѣ чего уже легко было, дѣленія пройденныя верньеромъ, выражать въ градусахъ стоградуснаго термометра. Снарядъ этотъ составлялъ такимъ-образомъ настоящій термометръ, который съ точностью показывалъ свою собственную температуру. Когда же температура эта была извѣстна, то не предстояло больше труда, помощью коэффиціента расширенія платины, вычислить настоящую длину платиновой линейки.

Фиг. 93.

159. Металлическіе пирометры. — Вышеописанный снарядъ, равно какъ и представленный на фиг. 80, способны показывать самыя высокія температуры, т.-е. составляютъ настоящіе *пирометры*; но они представляютъ то неудобство, что для лицъ не имѣющихъ навыка въ опытахъ этого рода, пришлось бы давать линейкамъ весьма большую величину, дабы сдѣлать доступными наблюденію относительныя передвиженія обѣихъ линеекъ. Подобный снарядъ, слѣдовательно, не можетъ составлять пирометра удобопримѣнимаго въ промышленности.

Реньé (Règnier) изобрѣлъ пирометръ, состоящій изъ желѣзной дуги *a c b* (фиг. 94), оконечности которой соединены посредствомъ мѣднаго прута *ab*. Такъ-какъ мѣдь расширяется болѣе желѣза, то при возвышеніи температуры точка *c* приближается къ линіи *ab* и зубчатая пластинка, укрѣпленная въ точкѣ *c*, сообщаетъ, посредствомъ шестерни, движеніе стрѣлки *e*. Пирометръ этотъ представляетъ од-

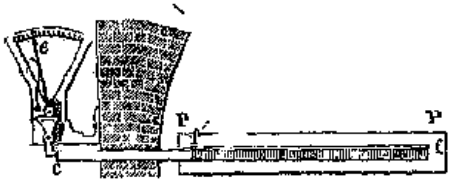
Фиг. 94.



нако то неудобство, что его всего должно погружать въ печь, температуру которой желаютъ узнать; очевидно, что наблюденія съ такимъ пирометромъ затруднительны.

Бронъяръ (Brongniart) придумалъ другое устройство, въ которомъ указатель находится внѣ печи; его пирометръ употребляется преимущественно на фарфоровыхъ заводахъ и при рисованіи на стеклѣ. Устройство этого пирометра основано на свойствѣ фарфора расширяться только въ весьма незначительной мѣрѣ, даже при весьма высокихъ температурахъ. Въ неподвижно укрѣпленной фарфоровой доскѣ PP' (фиг. 95) сдѣлана выемка, въ которую помѣщается желѣзная полоса ff', конецъ f которой упирается въ оконечность выемки. Фарфоровая пластинка cf' проходитъ сквозь стѣну печи и упирается въ оконечность c рычага, движеніе котораго передается стрѣлкѣ, двигающейся по раздѣленному кругу. Стрѣлка эта нажимается пружиною такимъ-образомъ, чтобы полоса cf' всегда упиралась въ полосу ff'. Эта послѣдняя, расширяясь отъ дѣйствія теплоты, производитъ давленіе на полосу $f'c$ и приводитъ въ движеніе указатель. Пирометръ этотъ, равно какъ и описанные нами выше, не показываетъ температуръ согласныхъ съ градусами ртутнаго термометра, ибо мы видѣли, что выше 100° расширяемость твердыхъ тѣлъ увеличивается по мѣрѣ возвышенія температуры. При температурѣ же плавильныхъ печей разность эта до того велика, что снаряды эти могутъ быть только разсматриваемы какъ простые *пироскопы*. Къ-счастію, что въ заводскомъ производствѣ достаточно имѣть возможность находить извѣстныя условныя выраженія температуры, необходимой для совершенія извѣстнаго рода работъ.

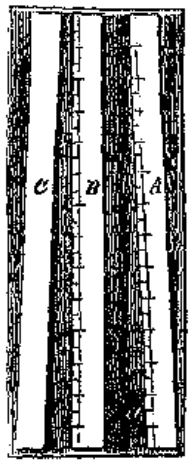
Фиг. 95.



Пирометръ Веджвуда (Wedgwood). Знаменитый англійскій промышленникъ Веджвудъ изобрѣлъ пирометръ наиболѣе извѣстный, основанный на свойствѣ сухой глины, испытывать въ огнѣ сжатіе, остающееся и послѣ охлажденія и увеличивающееся съ возрастаніемъ температуры (137) Снарядъ этотъ (фиг. 96) состоитъ просто изъ двухъ металлическихъ линеекъ A, B, образующихъ небольшой уголъ и утвержденныхъ на мѣдной доскѣ. Для сокращенія длины снаряда, располагаютъ на доскѣ еще третью линейку C, образующую съ смеж-

ною съ нею линейкою *B*, уголъ равный образуемому линейками *A* и *B*, такъ-что промежутокъ между *C* и *B* какъ-бы составляетъ продолженный промежутокъ линеекъ *A* и *B*. Совокупная длина этихъ двухъ промежутковъ составляетъ 305^{mm} и содержитъ 240 равныхъ дѣленій. Наибольшее разстояніе между линейками равняется 12^{mm},7; наименьшее 8^{mm},5 *). Маленькіе цилиндры изъ хорошо вымѣсенной глины просушиваютъ и обтачиваютъ пилкою такимъ-образомъ, чтобы они входили до нуля въ промежутокъ между линейками *A* и *B*; для большей же прочности цилиндры эти обжигаются до темно-краснаго цвѣта. Для полученія температуры печи, кладутъ въ нее одинъ изъ такихъ цилиндровъ и по принятіи цилиндромъ температуры печи, даютъ ему охладиться и потомъ пропускаютъ между линейками, между которыми онъ болѣе или менѣе углубляется вслѣдствіе испытаннаго имъ накаливанія. Если цилиндръ такимъ-образомъ опустится наприм. до 35 дѣленія, то говорятъ, что температура равняется 35° пирометра. Очевидно, что для полученія результатовъ согласныхъ между собою, необходимо, чтобы всѣ цилиндры были одинаковаго свойства. Употребленные Веджвудомъ содержали 47,35 кремнезема, 44,29 глинозема и 8,36 воды.

Фиг. 96.



Градусы своего пирометра Веджвудъ пытался также согласовать съ градусами ртутнаго термометра. Для этой цѣли онъ избралъ посредствующимъ членомъ сравненія серебряный цилиндръ, скользящій при нагрѣваніи, отъ температуры кипящей воды до температуры кипѣнія ртути, по лекалу изъ глины бывшему вѣрнымъ воспроизведеніемъ части пирометра. Глина, изъ которой было приготовлено лекало, была сдѣлана ноздреватою посредствомъ примѣси угля, для приданія лекалу возможно меньшей расширяемости даже при самыхъ высокихъ температурахъ. Веджвудъ нашелъ такимъ-образомъ, что серебряный цилиндръ нагрѣваемый отъ 100° къ 360°, т.-е. при увеличеніи температуры на 260°, пробѣгалъ 23,4 дѣленія, что составляетъ почти 11°,11 стогр. терм. на одно дѣленіе пирометра. Потомъ лека-

*) Annales de chimie et de physique, 1810, t. LXXI.

ло это Веджвудъ перенесъ въ муфту и помѣстивъ въ него еще глиняный цилиндръ, нашелъ, что серебряный цилиндръ должно было приподнять на 66 дѣленій, когда цилиндръ глиняный понижался на 2,25 дѣленія. А какъ 66 дѣленій, пройденныхъ серебрянымъ цилиндромъ, соотвѣтствуютъ $66 \times 11,11 = 733^0$ стогр. терм.,—къ которымъ еще должно прибавить 10^0, доставлявшихъ температуру цилиндра до помѣщенія его въ лекало,—то выходитъ, что 743^0 Ц. соотвѣтствуютъ 2,25 дѣленіямъ пирометра. При повтореніи опыта, серебряный цилиндръ отошалъ на 92 дѣленія, а глиняный углубился на 6,25. Девяносто два дѣленія, пройденныя серебромъ, соотвѣтствуютъ 1032^0 Ц., если прибавить 10^0 первоначальной температуры серебрянаго цилиндра. Изъ этого заключаютъ, что разность $1032^0 - 743^0 = 289^0$ Ц., соотвѣтствуетъ $6,25 - 2,25 = 4$ дѣленіямъ глиняпаго пирометра, что составляетъ на каждое дѣление около 72^0 Ц.

Для того, чтобы получить число градусовъ Цельзіева термометра, соотвѣтствующихъ нулю пирометра, достаточно вычесть изъ 743^0 Ц. соотвѣтствующихъ 2,25 дѣленіямъ пирометра, $72 \times 2,25 = 162$, что дастъ 581^0 Ц.—Очевидно, что числа эти зависятъ отъ количества употребленной глины; Веджвудъ поэтому озаботился о приготовленіи большаго числа однокачественныхъ цилиндровъ и разослалъ ихъ большей части ученыхъ и промышленниковъ. Впрочемъ эта метода согласованія дѣленій пирометра, съ градусами ртутнаго термометра, можетъ быть примѣнена къ цилиндрамъ какого бы то ни было свойства. Эта метода, хотя весьма остроумная, даетъ однако результаты, которые могутъ быть названы точными только въ томъ предположеніи, что расширеніе серебра при высокихъ температурахъ постоянно, чего впрочемъ, какъ мы видѣли, не бываетъ. Слѣдовательно пирометръ Веджвуда, также какъ и другіе пирометры, не дастъ показаній согласныхъ съ ртутнымъ термометромъ; тѣмъ не менѣе изобрѣтеніе это весьма драгоцѣнно, и пирометръ этотъ находится въ большомъ употребленіи по причинѣ незначительности размѣровъ тѣла опускаемаго въ печь, что даетъ возможность опредѣлять съ точностью температуру печи въ каждой опредѣленной точкѣ.

Начало, на которомъ основано устройство этого пирометра, послужило Веджвуду къ опредѣленію температуры, при которой обжигалась посуда древнихъ. Для этого онъ подвергалъ куски помянутой посуды дѣйствію возраставшей температуры, наблюдая температуру, при которой кусокъ начиналъ сжиматься. Температура эта и была именно та, при которой обжигалась посуда. Веджвудъ такимъ-обра-

зомъ нашелъ, что этрурскія вазы обжигались при температурѣ не превышавшей 32° его пирометра

160. Уравнители огня. — Расширеніями твердыхъ тѣлъ пользуются также для уравненія температуры въ плавильныхъ и сушильныхъ печахъ и т п. Въ печи помѣщается металлическая полоса, принимающая температуру печи; полоса эта расположена такимъ образомъ, что при расширеніи она упирается въ рычагъ, болѣе или менѣе поворачивающій заслонку, закрывающую трубу печи; чрезъ это уменьшается притокъ воздуха къ печи, когда температура слишкомъ высока; иногда же рычагъ закрываетъ отверстіе, чрезъ которое воздухъ сообщается топливу (поддувало), такъ-что въ обоихъ случаяхъ происходитъ болѣе медленное горѣніе, а слѣдовательно и пониженіе температуры.

Термостатъ доктора Юре (Ure) основанъ на употребленіи уравнительныхъ пластинокъ (157); двойная пластинка утверждается однимъ концомъ неподвижно, другой же конецъ, передвигаясь сообразно съ измѣненіями кривизны, производимыми различною температурою, дѣйствуетъ на рычагъ, заслоняющій болѣе или менѣе отдушины печи. Уравнители эти употребляются въ различныхъ фабричныхъ производствахъ, наприм. при искусственномъ выведеніи цыплятъ.

Мы увидимъ далѣе, что расширеніе газовъ даетъ возможность имѣть болѣе предпочтительные уравнители теплоты, чѣмъ описанные выше, равно какъ и пирометръ болѣе совершенный, нежели тѣ, которые основаны на расширеніи твердыхъ тѣлъ. Употребленіе такого пирометра однако не столь удобно

§ 2. Расширенія жидкостей.

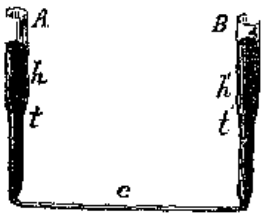
I. Измѣреніе абсолютнаго расширенія ртути.

161. Мы видѣли, что Дюлонгъ и Пти основывали свои изысканія о кубическихъ расширеніяхъ твердыхъ тѣлъ на коэффиціентѣ абсолютнаго расширенія ртути. Множество естествоиспытателей—Дальтонъ (Dalton), Кевендишъ (Cavendish), Делюкъ (Deluc), Руа (Roy), Шукбургъ (Shukburgh), Лавуазьé (Lavoisier), Лапласъ (Laplace), Гельштремъ (Haellstroem), Ламандъ (Lalande), Делиль (Delisle) и Кабуа (Cabois), вычисляли абсолютное расширеніе ртути ниже 100°, измѣряя кажущееся расширеніе ртути въ стеклѣ и присовокупляя рас-

ширеніе оболочки, или же измѣряя высоту барометра при одномъ и томъ же давленіи, но при различныхъ температурахъ. Но результаты ими полученные значительно несогласны между собою по причинѣ неточности употребленныхъ ими методъ; кстому же опыты надлежало производить свыше 100°.

Опыты Дюлонга и Пти. Дюлонгъ и Пти воспользовались для измѣренія абсолютнаго расширенія ртути слѣдующимъ началомъ, идею котораго далъ Бойль (Boyle) *) Пусть будутъ двѣ вертикальныя трубки A и B (фиг 97) содержащія ртуть и соединенныя внизу посредствомъ горизонтальной трубки c, достаточно длинной и тонкой для того, чтобы при различныхъ температурахъ ртутныхъ столбовъ жидкость одного столба не смѣшивалась съ жидкостью другаго. Для равновѣсія этихъ жидкостей необходимо, чтобы высоты ихъ, начиная отъ оси трубки c, были обратно-пропорціональны ихъ плотностямъ. Назвавъ чрезъ d и d' плотности ртути при 0° и t^0, и означивъ чрезъ h и h' высоты ртутныхъ столбовъ, имѣющихъ эти плотности, получимъ $h : h' = d' : d$, сверхъ этого, если мы чрезъ v и v' выразимъ объемы одной и той же массы ртути при 0° и t^0, т.-е. имѣющей плотности d и d', то $v : v' = d' : d$; соединивъ обѣ пропорціи получимъ: $h : h' = v : v'$, откуда, раздѣливъ предъидущіе члены на t, получимъ $\frac{v'-v}{vt} = \frac{h'-h}{ht}$. Но $v'-v$ составляетъ увеличеніе, испытываемое объемомъ v при переходѣ отъ 0° къ t^0, и, слѣдовательно, $\frac{v'-v}{vt}$ выражаетъ коэффиціентъ абсолютнаго расширенія ртути. Очевидно, что для полученія этого коэффиціента достаточно измѣрить количества h, h' и t, независящія отъ размѣровъ сосудовъ.

Фиг. 97.

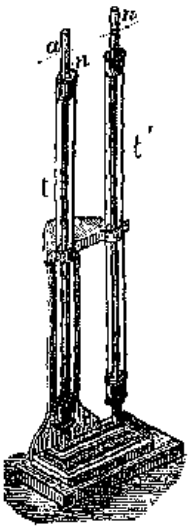


Чтобы показать разности высотъ двухъ столбовъ одной и той же жидкости, нагрѣтыхъ различнымъ образомъ и заключенныхъ въ двухъ трубкахъ, имѣющихъ между собою сообщеніе, употребляютъ снарядъ изображенный на фиг 98. Сообщающіяся трубки t и t' содержатъ окрашенный алькоголь и заключены каждая въ толстую хрустальную трубку; въ трубку со стороны t наливаютъ холодную

*) Annales de chimie et de physique, 2-e série, t VII, p. 124.

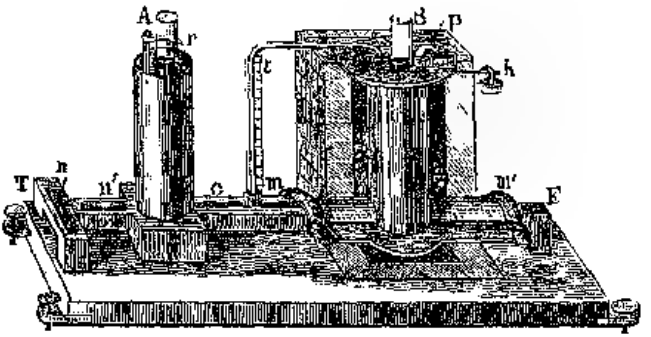
воду, а со стороны t' кипятокъ При этомъ уровень n' поднимается на несколько сантиметровъ выше уровня n.

фиг. 98.



Для примѣненія вышеописанной методы, Дюлонгъ и Пти употребили снарядъ изображенный на фиг. 99-й сообщающіяся трубки имѣютъ форму $A\,c\,B$ (фиг. 98; верхняя часть обѣихъ вертикальныхъ вѣтвей должна имѣть достаточную ширину, для избѣжанія дѣйствія волосности. Вѣтви эти соединены весьма тонкою горизонтальною трубкою c, имѣющею на всемъ протяженіи одинаковый діаметръ и одинаковую толщину. Трубка эта покоится на желѣзной полосѣ $T\,F$ (фиг. 99), имѣющей форму буквы Т; полоса должна представлять сверху совершенно ровную плоскость, она опирается посредствомъ трехъ ножекъ на столъ, снабженный винтовыми ножками. Два ватерпаса n и n', перпендикулярные между собою, служатъ для приведенія верхней плоскости этой полосы въ горизонтальное

фиг. 99



положеніе. Вертикальныя трубы поддерживаются посредствомъ желѣзныхъ стоекъ, изъ которыхъ стойка поддерживающая трубку A, содержимую при температурѣ 0°, снабжена въ верхней части крючкомъ r, служащимъ индексомъ для измѣренія высотъ. Вѣтвь A окружена цилиндромъ изъ-бѣлой жести, прикрѣпленнымъ къ полосѣ $T\,F$ посредствомъ мастики; этотъ цилиндръ наполняютъ тающимъ льдомъ; а для наблюденія уровня ртути, въ верхней части цилиндра сдѣланъ разрѣзъ и въ этомъ мѣстѣ ледъ несколько отодвигается въ

сторону Другая вѣтвь *B* окружена мѣдною трубкою, имѣющею внизу два горизонтальные рукава въ видѣ полуцилиндровъ *m*, *m*, полуцилиндры эти совершенно обхватываютъ желѣзную полосу *T F* и плоская сторона ихъ, находящаяся подъ полосою, прикрѣпляется посредствомъ винтовъ къ металлической пластинкѣ. Чрезъ такое устройство, полуцилиндры и соединенная съ ними нижняя металлическая пластинка, совершенно окружаютъ полосу *T F*. Концы *m*, *m*, задѣлываютъ мастикою, для того чтобы восходящую мѣдную трубу можно было наполнять жидкостью. Труба эта наполняется до-верху масломъ и потомъ закрывается крышкою, которую привинчиваютъ къ довольно широкимъ закраинамъ трубы. Масло нагрѣвается посредствомъ печи, часть которой можно видѣть на чертежѣ. Излишекъ расширяющагося масла вытекаетъ чрезъ трубку *h*. Мастика *m*, *m*, находится внѣ печи, и смачивается для предотвращенія горѣнія, а равно и для того, чтобы высыхая она не отдѣлялась отъ полосы. Температура масла опредѣляется помощію вѣсоваго термометра *p*, резервуаръ котораго занимаетъ всю глубину масляной бани и посредствомъ воздушнаго термометра *t*, который мы опишемъ при изслѣдованіи расширенія газовъ Наконецъ, катетометръ,—снарядъ придуманный Дюлонгомъ и Пти по поводу разсматриваемыхъ нами теперь изысканій—былъ расположенъ на довольно значительномъ разстояніи отъ снаряда и находился въ равномъ удаленіи отъ трубъ *A* и *B*.

Опыты производились слѣдующимъ образомъ: когда температура достигла желаемаго предѣла для наблюденій, то для сохраненія постоянной температуры, запирали всѣ отверстія печи, а потомъ наблюдали температуры и измѣряли высоты столбовъ надъ осью трубки *c*. Для этого прибавляли или убавляли ртути въ столбѣ *B*, такъ чтобы уровень ее возвышался около полумиллиметра надъ крышкою цилиндра. Потомъ, посредствомъ катетометра измѣряли вертикальное разстояніе этого уровня отъ индекса *r*, и отодвинувъ ледъ, брали вертикальное разстояніе отъ того же индекса до уровня столба *A*. Разность между этими двумя разстояніями давало количество $h'-h$. Для полученія h, достаточно знать разстояніе индекса *r* до оси трубки *c*, которое остается постояннымъ по причинѣ присутствія тающаго льда Разстояніе это было предварительно измѣрено съ большою точностью; назвавъ его чрезъ R и чрезъ δ' разстояніе до уровня въ трубкѣ *A*, получимъ $h = R - \delta'$. При описываемыхъ нами опытахъ, разстояніе R равнялось $0^{m},5825$; при опытѣ, произведенномъ

ниже 100°, нашли $\delta' = 0^m, 03855$, а для трубки B, вертикальное разстояніе уровня до индекса r было $\delta' = 0^m, 02875$; слѣдовательно $h = R - \delta - 0, 54395$, и $h' - h = \delta' - \delta = 0, 00980$, что между 0° и 100° дастъ для коэффиціента абсолютнаго расширенія ртути $\frac{1}{5550}$. Мы видимъ, такимъ-образомъ, что погрѣшность въ двѣ или три десятыя миллиметра въ опредѣленіи величины R, произведетъ только неточность на двѣ или на три единицы въ знаменателѣ. Дюлонгъ и Пти нашли слѣдующіе средніе результаты, полученные изъ большаго числа измѣреній.

Температура воздушнаго термометра.	Среднее абсолютное расширеніе ртути, начиная отъ 0°	Температура показанная расширеніемъ ртути, если принять его *постоянное*.
0°	0	0°
100°	$\frac{1}{5550} = 0, 00018018$	100°
200°	$\frac{1}{5425} = 0, 00018433$	204°,61
300°	$\frac{1}{5300} = 0, 00018868$	314°,15

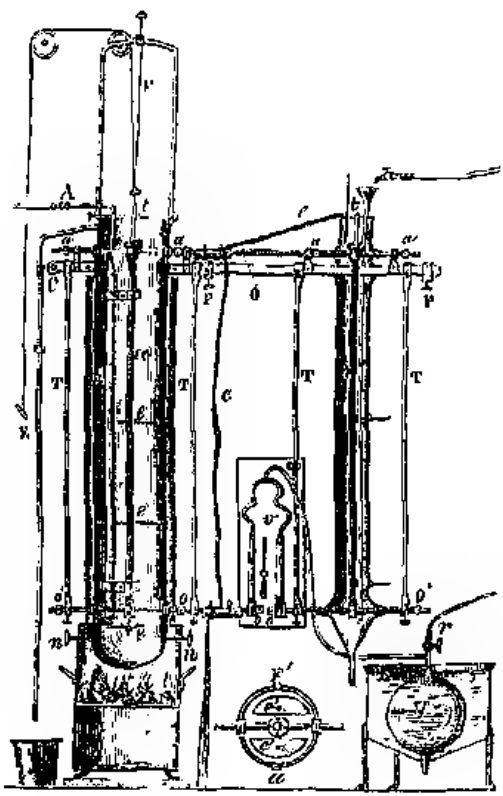
До 100° расширеніе ртути совершается равномѣрно, но свыше оно постепенно увеличивается, если измѣрять температуру посредствомъ воздушнаго термометра. Вышепоказанныя числа заключаютъ нѣкоторую погрѣшность, происходящую отъ того, что для коэффиціента расширенія газовъ было взято слишкомъ малое число, какъ мы это объяснимъ при описаніи расширенія газовъ.

Въ описанныхъ нами весьма замѣчательныхъ опытахъ заключаются нѣкоторыя неточности, происходящія, во-первыхъ, отъ возвышающагося надъ крышкою въ сосудѣ B слоя ртути, охлажденіе котораго, при высокихъ температурахъ, не можетъ быть упускаемо изъ виду. Кромѣ-того масло, не бывъ приводимо въ движеніе, не могло имѣть повсюду одинаковой температуры. Это послѣднее неудобство, хотя и было до нѣкоторой степени уменьшено посредствомъ вертикальной длины резервуара термометровъ, но все-таки оно не могло быть совершенно уничтожено. Наконецъ высота самихъ столбовъ ртути была слишкомъ незначительна, отчего разность высоты въ обоихъ рукавахъ выходила весьма малая, и слѣдовательно малѣйшая погрѣшность въ измѣреніи этой разности не могла не имѣть значенія. Реньо (Regnault), у котораго мы заимствуемъ эти замѣчанія,

счелъ нужнымъ подвергнуть этотъ вопросъ новому изслѣдованію, руководствуясь тѣмъ же началомъ, но только употребивъ снарядъ способный дать гораздо точнѣйшіе результаты *).

162. Опыты Реньо. — Снарядъ Реньо изображенъ на фиг. 100-й. a, a' суть двѣ вертикальныя желѣзныя трубы, имѣющія $1^{m},50$ высоты и 10^{mm} внутренняго діаметра. Трубы эти соединены вверху горизонтальною трубкою $\alpha\alpha\alpha\alpha$ и сообщаются съ наружнымъ воздухомъ посредствомъ двухъ маленькихъ трубочекъ t, t. Въ нижней части вертикальныхъ трубокъ находятся двѣ горизонтальныя трубки $o'oo,oo'$, закрытыя въ o', o', и имѣющія на другомъ концѣ по вертикальной стеклянной трубкѣ; послѣднія эти двѣ трубки соединены въ o помощью гибкой трубки изъ свинца, посредствомъ которой они сообщаются съ мѣднымъ шаромъ V окруженнымъ холодною водою. Трубка съ краномъ r служитъ для сжатія воздуха въ шарѣ посредствомъ нагнетательнаго насоса. Вертикальная трубка a' заключена въ цилиндрическомъ котлѣ, наполненномъ масломъ и укрѣпленномъ надъ печью посредствомъ винтовъ n, n; котелъ этотъ окруженъ трубою изъ листоваго желѣза, которая служитъ для предохраненія котла отъ охлажденія. Воздушный термометръ, часть котораго можно видѣть

фиг. 100



*) Mémoires de l'Académie des Sciences de l'Institut. 1847.

въ *A A* и устройство котораго мы объяснимъ далѣе, показываетъ температуру масла. Другая вертикальная трубка *a* окружена жестянымъ цилиндромъ, въ который пропускаютъ струю холодной воды, постоянная температура ея познается посредствомъ нѣсколькихъ термометровъ. Вода эта, достигнувъ дна цилиндра, поднимается вверхъ и вытекаетъ чрезъ верхній край цилиндра. Часть этой воды направляется, посредствомъ шнурка изъ хлопчатой бумаги, или изъ ненькъ *c*, *c*, на горизонтальныя трубки $\alpha\,\alpha$, $o'oo'$, для воспрепятствованія нагрѣванію этихъ трубокъ отъ котла. Наконецъ котелъ окруженъ двойными экранами, не представленными на чертежѣ, и служащими для преграждения теплоты лучепускаемой котломъ.

Весь снарядъ приложенъ къ стѣнѣ и поддерживается на стержнѣ *C P P*, который можетъ вращаться на оси *C*, вдѣланной въ стѣну, и проходитъ кромѣ-того сквозь двѣ скобы *P*, *P*, также утвержденныя въ стѣнѣ и снабженныя винтами, помощью которыхъ стержень приводится въ горизонтальное положеніе. Стержень этотъ поддерживаетъ трубку $\alpha\alpha\alpha\alpha$, посредствомъ четырехъ короткихъ подставокъ, которыя, смотря по надобности, могутъ быть повышены или понижены для придания трубкѣ горизонтальнаго положенія. Стержень *C P* сгибается на одномъ концѣ въ полукругъ и охватываетъ одну сторону котла, подобный же полукругъ дополняетъ кольцо съ передней стороны, два вертикальные винта, придѣланные къ передней и задней сторонѣ котла, опираются своими оконечностями на кольцо, и поддерживаютъ такимъ-образомъ котелъ. Желѣзные прутья *T*, *T*, *T*, *T*, прикрѣпленные къ стержню *C P*, поддерживаютъ горизонтальныя трубки $o'oo$ и oo'. Трубкамъ этимъ можно сообщить совершенно горизонтальное положеніе помощью винтовъ, расположенныхъ въ нижнемъ концѣ прутьевъ, и повѣрка этого положенія дѣлается посредствомъ значковъ o', o, o, o, o' которыя состоятъ изъ латунныхъ скобокъ; на передней сторонѣ ихъ начерченъ крестъ, котораго точка пересѣченія находится на высотѣ оси трубки. Подобные же значки α,α,α,α служатъ для повѣрки горизонтальнаго положенія трубки $\alpha\,\alpha\,\alpha\,\alpha$. Трубка эта проходитъ сквозь котелъ, стѣнки котораго сжимаются посредствомъ гаекъ, двигающихся по винтовымъ нарѣзкамъ сдѣланнымъ въ толщинѣ самой трубки. Со стороны вертикальной трубки *a*, полоса *C P* и трубка $\alpha\,\alpha\,\alpha\,\alpha$ проходятъ сквозь цилиндръ чрезъ трубчатыя отверстія, завязанныя пузыремъ. Точно такимъ же образомъ располагаются, относительно котла и цилиндра, трубки $o'\,o\,o$, и

o' o. Наконецъ мѣшалка *eeef*, проэкція *ee'* которой можно видѣть отдѣльно на фиг., *E'*, служитъ для перемѣшиванія слоевъ масла въ котлѣ Мѣшалка эта приводится въ движеніе посредствомъ снурка *E*, проходящаго по двумъ блокамъ, причемъ стержень ея *f* имѣетъ опредѣленное направленіе, проходя чрезъ отверстіе, сдѣланное надъ крышкою котла Излишекъ масла, происходящій отъ расширенія его, вытекаетъ чрезъ боковую трубку, которую можно видѣть на лѣвой сторонѣ чертежа.

Опыты производятъ слѣдующимъ образомъ: установивъ и повѣривъ снарядъ, наливаютъ ртути чрезъ трубки *t, t'* и въ то же время сжимаютъ воздухъ въ шарѣ *V*, чтобы препятствовать ртути подниматься въ стеклянныхъ трубкахъ *v*. Ртуть вскорѣ распространяется по трубкѣ *αααα* имѣющей вверху отверстіе O, черезъ которое вытекаетъ излишекъ этой жидкости После этого разогрѣваютъ котелъ, мѣшая вмѣстѣ съ тѣмъ масло и пропуская въ то же время сквозь сосудъ съ правой стороны струю холодной воды Воздуху же, заключенному въ шарѣ *V*, сообщаютъ такое давленіе, чтобы ртуть поднялась только на весьма малую высоту въ той изъ трубокъ *v*, которая находится съ нагрѣтой стороны. Наконецъ, когда температура термометра уже начинаетъ устанавливаться, т.-е измѣняться медленно, повѣряютъ знаки, и потомъ, когда она сдѣлается постоянною, наблюдаютъ посредствомъ катетометра уровни ртути въ трубкахъ *v* и измѣряютъ разстояніе этихъ уровней отъ знака *o*, находящагося на нижнемъ концѣ стеклянной трубки съ правой стороны, отъ этого знака считаются всѣ высоты.

Предположимъ, что горизонтальныя трубки безконечно-тонки, и что температура ртутнаго столба *a* равна 0° Пусть *h* высота ртути въ трубкѣ *v* съ правой стороны, и *H* разстояніе отъ значка, находящагося внизу этой трубки, до оси трубки *αααα*. Упругость воздуха въ шарѣ *V* равняется давленію ртутнаго столба *H* при 0°, уменьшенному на высоту столба *h*, температуру *t* котораго показываетъ термометръ помѣщенный въ *v*. Столбъ этотъ, приведенный къ температурѣ 0°, будетъ $\frac{h}{1+\delta' t}$, гдѣ δ' означаетъ коэффиціентъ абсолютнаго расширенія ртути отъ 0° до t°. Слѣдовательно $H - \frac{h}{1+\delta' t}$ будетъ выражать упругость воздуха въ шарѣ. Пусть будетъ h' высота ртутнаго столба въ трубкѣ *v* съ лѣвой стороны, считая эту высоту отъ значка на правой трубкѣ, и h'' разность высотъ двухъ смежныхъ значковъ *o*, *o*. Воздухъ въ шарѣ *V* уравновѣшивается ртутнымъ стол-

бомъ a', температуру котораго назовемъ T и высотою H', уменьшенною на высоту столба $h' + h''$, котораго температура t. Этотъ послѣдній столбъ приведенный къ температурѣ T, выразится чрезъ $h' + h'') [1 + \delta'' (T - t)]$, гдѣ δ'' означаетъ средній коэффиціентъ расширенія ртути между t° и T°. Слѣдовательно столбъ $H' - (h' + h'') [1 + \delta' (T - t)]$ выражаетъ упругость воздуха въ шарѣ V. Если мы теперь ртутный столбъ трубки a при 0°, приведемъ къ температурѣ T, то получимъ:

$$\left[H - \frac{h}{1 + \delta t}\right](1 + \delta T) = H' - (h' + h'') [1 + \delta' (T - t)],$$

откуда α, $\delta T = \dfrac{(H' - H) + h \dfrac{1}{1 + \delta' t} - (h' + h'') [1 + \delta'' (T - t)]}{H - \dfrac{h}{1 + \delta' t}}$

гдѣ δ средній коэффиціентъ расширенія ртути между 0° и T.

Для вычисленія величины δT употреблялась метода послѣдовательныхъ повѣрокъ: для δ' и δ'' брали сперва величины, найденныя Дюлонгомъ и Пти, и такимъ-образомъ получали рядъ величинъ для δT, которыя потомъ включали въ интерполяціонную формулу для вычисленія промежуточныхъ величинъ между полученными прямо изъ опыта. Изъ этой интерполяціонной формулы выводили величины $\delta' t$ и $\delta'' (T - t)$, изъ которыхъ послѣдняя равняется $\delta T - \delta' t$. Новыя эти величины включали въ формулу (α) и вновь вычисляли δT.

Такъ-какъ опытъ показалъ, что ледъ, служащій для поддержанія 0° въ трубкѣ, образуетъ вскорѣ вокругъ нея пустой промежутокъ, то Реньо предпочелъ замѣнить ледъ струею воды, которая бы сообщила трубкѣ постоянную температуру θ. Въ этомъ случаѣ формулу (α, должно нѣсколько измѣнить; H надобно помножить на $\dfrac{1}{1 + \delta''' \theta}$ для приведенія столба къ тому, чему бы онъ равнялся при 0°: δ''' означаетъ средній коэффиціентъ расширенія ртути между 0° и θ°.

Реньо произвелъ большое число опытовъ по способу, который нѣсколько отличается отъ вышеизложеннаго; въ этихъ опытахъ трубки a, a' соединялись внизу желѣзною трубкою, а трубка $\alpha\alpha\alpha\alpha$ была прорѣзана по срединѣ и составляла двѣ отдѣльныя трубки, смежныя оконечности которыхъ имѣли по стеклянной вертикальной трубкѣ, при наблюденіи измѣряли разность высотъ ртути въ этихъ

трубкахъ. Способъ этотъ приближается къ способу Дюлонга и Пти. Вотъ нѣкоторые изъ результатовъ найденныхъ Реньо:

Температура возд. терм.	*Средний коэффициентъ* расширенія ртути отъ 0° до *T*.	*Настоящій коэффициентъ* расширенія отъ *T*° до (T+1)°.	*Температура* выведенная изъ абсолютн. расширенія ртути.	*Разность* воздушн. термометр.
0°	0	0,00017905	0	0°
30	0,00017976	0,00018051	29,700	— 0,291
50	0,00018027	0,00018152	49,650	— 0,350
70	0,00018078	0,00018253	69,777	— 0,223
100	0,00018153	0,00018305	100	0
150	0,00018279	0,00018657	151,044	+ 1,334
200	0,00018405	0,00018900	202,782	+ 2,782
250	0,00018531	0,00019161	255,214	+ 5,214
300	0,00018658	0,00019413	308,340	+ 8,340
350	0,00018784	0,00019666	362,160	+ 12,160

Мы видимъ, что до 100° расширеніе ртути почти однообразно, но свыше 100° оно увеличивается всё болѣе-и-болѣе, какъ это показываетъ пятый столбецъ таблицы

II. Законы расширенія другихъ жидкостей, кромѣ ртути.

163. Всѣ жидкости расширяются вообще болѣе нежели твердыя тѣла. Такимъ-образомъ ртуть,—жидкость наименѣе расширяющаяся,—расширяется болѣе цинка, твердаго тѣла имѣющаго наибольшую расширяемость. Сила, съ которою расширяются жидкости, чрезвычайно велика, она измѣряется усиліемъ, которое бы слѣдовало употребить для приведенія расширенной массы въ первоначальный объемъ, помощію давленія; а извѣстно, какая огромная сила необходима для сжатія жидкости даже на нѣсколько стотысячныхъ частей ея объема. Напримѣръ, расширеніе ртути, начиная отъ 0° до 10°, равняется 0, 0017905. Сжимаемость же ртути равняется 0, 00000295 при давленіи одной атмосферы, слѣдовательно; если мы нагрѣемъ ртуть только до 10°, то для того чтобы не дозволять ртути расширяться

необходимо будетъ употребить давленіе болѣе, чѣмъ въ 600 атмосферъ. Правда, ртуть составляетъ жидкость одаренную наименьшею сжимаемостью, но въ тоже время жидкость эта имѣетъ и наименьшую расширяемость. Вотъ почему сосуды, наполненные жидкостью и герметически запертые, лопаются, если ихъ ставятъ на огонь, если только стѣнки сосуда не будутъ столь тягучи, что они въ состояніи будутъ достаточно расширяться и вслѣдствіе того противостоять разрыву.

164. Измѣреніе расширенія жидкостей.—Мы видѣли, какимъ образомъ, зная коэффиціентъ абсолютнаго расширенія ртути, можно вычислить расширеніе стеклянной оболочки. Послѣ этого уже легко получить абсолютное расширеніе жидкости; стоитъ только измѣрить сперва ее кажущееся расширеніе въ термометрической трубкѣ, раздѣленной на части равной емкости, по способу указанному нами для кажущагося расширенія ртути (18), съ тою только разницею, что при этомъ берутся температуры свыше 100° Къ полученному такимъ образомъ кажущемуся расширенію прибавляютъ расширеніе стекла 148).

Делюкъ первый сдѣлалъ точные опыты надъ расширеніемъ жидкостей; онъ слѣдовалъ указанному нами способу, но только не принималъ въ разсчетъ расширеніе оболочки, принимая его ничтожнымъ Делюкъ при этомъ тщательно старался, посредствомъ кипяченія жидкости, освободить ее отъ растворенаго въ ней воздуха, и доказалъ всю трудность совершенно изгнать этотъ газъ *). Опыты свои Делюкъ производилъ надъ ртутью, оливковымъ масломъ, масломъ изъ ромашки и тимановой травы, водою насыщенною морскою солью, и спиртомъ различной крѣпости. Изъ этихъ опытовъ Делюкъ увидѣлъ, что термометры, устроенные изъ этихъ различныхъ жидкостей, расширялись начиная отъ 0° медленнѣе, чѣмъ ртутный термометръ; при 75° разность эта начинаетъ уменьшаться и совершенно исчезаетъ при 80°. Постоянныя точки были назначены непосредственно на каждомъ термометрѣ. Делюкъ выводитъ изъ этого законъ, подтвердившійся впослѣдствіи, что *расширеніе жидкостей на одинъ градусъ увеличивается по мѣрѣ возрастанія температуры*, и что увеличеніе это проявляется отъ 0°.

На основаніи этого уже нельзя болѣе, при вычисленіи объемовъ

---

*) Recherches sur les modifications de l'atmosphère, t. I.

жидкостей, руководствоваться коэффиціентомъ, а слѣдуетъ брать полныя расширенія между 0° и t°. Біо (Biot), разсматривая наблюденія Делюка, нашелъ, что расширенія жидкостей, изслѣдованныя этимъ послѣднимъ, могутъ быть выражены эмпирическою формулою слѣдующаго вида: $\delta_t = at + bt^2 + ct^3$, въ которой δ_t представляетъ полное расширеніе отъ 0° до t°, и a, b, c, постоянныя, опредѣляемыя, для каждой жидкости, посредствомъ трехъ непосредственныхъ наблюденій. Здѣсь не можетъ быть постояннаго члена, потому-что δ должно равняться 0 когда $t=0$. Посредствомъ этихъ формулъ можно вычислять, каждый разъ когда представится къ тому надобность, величину δ_t *).

Гэ-Люссакъ (Gay-Lussac) измѣрялъ расширеніе нѣкоторыхъ жидкостей, руководствуясь тою же методою; иногда же онъ измѣнялъ ее слѣдующимъ образомъ. Раздѣленную термометрическую трубку, вытянутую съ одного конца, наполнялъ жидкостію при температурѣ 0°, потомъ трубку погружали въ баню извѣстной температуры. Жидкость при этомъ выступала чрезъ вытянутый острый конецъ, и когда трубку вновь приводили къ 0°, то дѣленія ея показывали количество жидкости вышедшей изъ трубки. Расширеніе оставшагося количества жидкости соотвѣтствовало образовавшемуся пустому пространству въ трубкѣ. Способъ этотъ допускаетъ также взвѣшиваніе, какъ это дѣлается при вѣсовомъ термометрѣ. Гэ-Люссакъ нашелъ, что расширяемость воды менѣе расширяемости *алькоголя*, за которымъ слѣдуетъ *сѣрнистый углеродъ* и *сѣрный эѳиръ;* послѣдній имѣетъ наибольшую расширяемость. Гэ-Люссакъ измѣрялъ при этихъ опытахъ сжатіе поименованныхъ жидкостей, начиная отъ точки кипѣнія, гдѣ отталкивающая сила ихъ составныхъ частицъ одна и та же, потому-что она здѣсь равняется атмосферному давленію.

Томсонъ замѣтилъ, *что начиная отъ* 0°, *наиболѣе расширяемыя*

---

*) Предположеніе, что показатели t равны 1, 2, 3 . . ., только гипотетическое; слѣдовало бы положить $\delta = at^\alpha + bt^\beta + ct^\gamma$ . . . . . и опредѣлить α, β, γ . . a, b, c . . . посредствомъ различныхъ опытовъ. Но это бы слишкомъ усложнило задачу; кстому же, принимая за показатели t цѣлыя числа, мы находимъ удовлетворительное согласіе между получаемыми изъ опытовъ результатами и выводами доставляемыми интерполяціонною формулою выводами. Формулы эти, примѣры которыхъ мы уже имѣли случай видѣть (68), употребляются каждый разъ, когда не находятъ простыхъ законовъ; они замѣняютъ графическія построенія Габріэль Мутонъ (Gabriel Mouton), астрономъ изъ Люна употреблялъ первый эту методу вычисленія.

жидкости имѣютъ низкую температуру кипѣнія. Точки кипѣнія четырехъ жидкостей, изслѣдованныхъ Гэ-Люссакомъ, суть 100° 78,41—46 60—35 86. Гэ-Люссакъ замѣтилъ, и замѣчаніе это подтвердилъ впослѣдствіи Пьеррь, что алькоолъ и сѣрнистый углеродъ имѣютъ одну и ту же расширяемость, однакожь кипѣніе этихъ жидкостей происходитъ при различныхъ температурахъ, откуда должно заключить, что не одна только точка кипѣнія имѣетъ вліяніе на расширяемость. Гэ-Люссакъ открылъ также это замѣчательное обстоятельство что обѣ эти жидкости даютъ, при температурѣ ихъ кипѣнія одинаковый объемъ паровъ. Законъ изложенный Томсономъ объясняетъ то обстоятельство, что расширеніе одной и той же жидкости увеличивается съ температурою; такъ-какъ жидкость въ этомъ случаѣ приближается къ точкѣ кипѣнія. Ртуть, расширяющаяся изъ всѣхъ жидкостей наименѣе, кипитъ только при 360° Кромѣ-того расширеніе ея равномѣрно до 100°. То же самое замѣчается и въ оливковомъ маслѣ, которое кипитъ при 300°; термометръ устроенный изъ этой жидкости, дастъ показанія почти согласныя съ ртутнымъ термометромъ Соленая вода, которая кипитъ при температурѣ болѣе высокой, нежели чистая вода, образуетъ менѣе неправильный термометръ чѣмъ эта послѣдняя. Подобный термометръ изъ соленой воды, по удостовѣренію Деви, показываетъ при 25° ртутнаго термометра 21°,6, тогда-какъ термометръ изъ чистой воды далъ бы только 5°,1. Слѣдовательно можно сказать, что чѣмъ труднѣе жидкость превращается въ пары, тѣмъ слабѣе и правильнѣе бываетъ ея расширеніе, въ-особенности когда это расширеніе наблюдаютъ на довольно значительномъ разстояніи отъ точки кипѣнія жидкости Мы сейчасъ увидимъ, что законъ этотъ дѣйствительно справедливъ только для жидкостей принадлежащихъ къ одной и той же химической группѣ.

При своихъ опытахъ Гэ-Люссакъ не принималъ въ разсчетъ расширенія стекла. Мунке (Münke), производившій опыты надъ большимъ числомъ жидкостей и въ-особенности надъ сѣрнистымъ углеродомъ и абсолютнымъ алькоолемъ *), избѣгнулъ этой причины неточности посредствомъ особаго способа уравненія, который состоитъ въ томъ, что въ резервуаръ термометрической трубки вводятъ такое количество ртути, чтобы расширеніе ея равнялось расширенію оболочки

*) Annales de chimie et de physique, 2-e serie, t. LXIV.

Если V объемъ всего снаряда при 0°, а v объемъ ртути также при 0°, то для полнаго вознаграждения необходимо имѣть $V \cdot K = v \cdot D$, гдѣ K коэффиціентъ кубическаго расширенія стекла, а D коэффиціентъ кубическаго расширенія ртути.

Мы приводимъ здѣсь результаты полученные Дальтономъ (Dalton), относительно полнаго расширенія различныхъ жидкостей между 0° и 100°. Надобно замѣтить, что нѣкоторыя изъ этихъ жидкостей, при обыкновенномъ ихъ состояніи кипятъ ниже этой температуры; но будучи освобождены отъ воздуха, они въ состояніи выдерживать температуру болѣе высокую, нежели та, какая соотвѣтствуетъ ихъ обыкновенной точкѣ кипѣнія. Должно также замѣтить, что въ нижеслѣдующихъ числахъ не исключена погрѣшность, происходящая отъ расширенія стекла; числа эти слѣдовательно изображаютъ кажущееся расширеніе жидкостей въ стеклѣ:

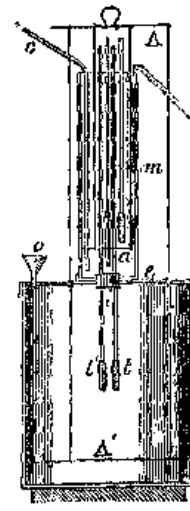
Азотная кислота	$\frac{1}{9}=0,11$
Алькоголь	$\frac{1}{9}=0,11$
Постоянныя масла	$\frac{1}{12}=0,08$
Сѣрный эѳиръ	$\frac{1}{14}=0,07$
Скипидаръ	$\frac{1}{14}=0,07$
Хлористоводородная кислота	$\frac{1}{17}=0,06$
Сѣрная кислота	$\frac{1}{17}=0,06$
Вода, насыщенная солью	$\frac{1}{20}=0,05$
Вода, чистая	$\frac{1}{22}=0,0466$
Ртуть	$\frac{1}{50}=0,02$

165. Опыты Пьерра. (J. Pierre). — Наиболѣе подробное изслѣдованіе надъ расширеніемъ жидкостей было сдѣлано Пьерромъ *). Пьеррь произвелъ опыты надъ сорока-четырьмя различными жидкостями, причемъ жидкости были взяты въ возможно-чистомъ состояніи. Жидкости эти были заключены въ термометрическія трубки, изъ которыхъ воздухъ былъ выгнанъ посредствомъ кипяченія и резервуары которыхъ были выдуты изъ самихъ же трубокъ. Для нагрѣванія вставляютъ, посредствомъ пробки i трубку съ жидкостью

*) *Annales de chimie et de physique*, 3-e serie, t. XV, XIX, XXI, XXXI XXXIII.

t (фиг. 101) въ дно стекляннаго цилиндра me, хорошо пришлифованнаго къ закраинѣ e утвержденной на крышкѣ резервуара R. Резервуаръ этотъ, наполненный водою или масломъ, располагается надъ печью. Возлѣ трубки съ жидкостью находится термометръ t'. Струя воды, притекающая чрезъ трубку c и выходящая при d, проходитъ чрезъ цилиндръ и поддерживаетъ въ трубкахъ t, t' постоянную температуру, показываемую двумя термометрами, изъ которыхъ одинъ ртутный, а другой изъ испытуемой жидкости. Двойная мѣшалка aAA' служитъ для приведенія въ движеніе масла въ резервуарѣ R, и воды въ цилиндрѣ. Такъ-какъ температура трубокъ t и t', заключенныхъ въ цилиндрѣ, извѣстна, то въ расширеніяхъ, полученныхъ изъ наблюденія въ трубкахъ t и t', можно дѣлать поправки соотвѣтствующія мѣньшей температурѣ этихъ трубокъ (71). Въ другомъ рядѣ опытовъ трубку съ жидкостью совершенно погружали въ большой мѣдный ящикъ, ёмкостью въ 45 литровъ и наполненный масломъ или водою. Температуры наблюдались, какъ и въ предъидущемъ случаѣ, по мѣрѣ достиженія максимума, если температура возвышалась, или минимума, когда она понижалась.

Фиг. 101.



Исправленіе погрѣшности вслѣдствіе расширенія оболочки, производилось посредствомъ формулы $\ldots = D - \frac{t'}{v} k$ (148), и величины, заключавшіяся между тѣми, которыя получались прямо изъ опыта, были вычисляемы помощью формулы $\delta_t = at + bt^2 + ct^3$, въ которой a, b, c опредѣлялись посредствомъ трехъ наблюденій, $\delta_t : t$ выражаетъ въ этомъ случаѣ среднее расширеніе на 1° между 0° и t°. Если t весьма мало, то величина $\delta_t : t$ становится равною a. Такимъ-образомъ получаютъ расширеніе для перваго градуса, начиная отъ 0°.

Изъ нижеслѣдующей таблицы видно, что расширеніе жидкостей, начиная отъ точки ихъ кипѣнія, увеличивается вмѣстѣ съ температурою и весьма различнымъ образомъ, смотря по роду наблюдаемой жидкости. При этомъ однако можно замѣтить, что жидкости принадлежащія къ одной и той же химической группѣ и соединенныя въ таблицѣ скобкою, слѣдуютъ при расширеніи почти одному и тому же закону, т.-е. что объемы равные при температурѣ кипѣнія

этихъ жидкостей, остаются равными же и при другихъ температурахъ, отстоящихъ на одинаковое число градусовъ отъ этой точки. Результатъ этотъ былъ наблюдаемъ въ пяти различныхъ группахъ, но, къ-сожалѣнію, эти группы состояли только изъ двухъ или трехъ веществъ.

Въ каждой группѣ, наиболѣе расширяющаяся жидкость есть та, которой точка кипѣнія самая низкая; но при переходѣ отъ одной группы къ другой законъ этотъ, замѣченный Томсономъ, не подтверждается болѣе на дѣлѣ. Такъ напримѣ хлористый кремній, который кипитъ при 58°, расширяется болѣе, нежели бромистый этиль, который кипитъ при 43°,8. Изъ всѣхъ жидкостей альдегидъ, который кипитъ при 22°, есть жидкость наиболѣе расширяющаяся. Эѳиръ и хлористый этиль, кипящіе при 35° и 11°, имѣютъ почти одно и то же расширеніе.

Расширеніе большей части жидкостей можетъ быть выражено формулою $\delta_t = at + bt^2 + ct^3$, съ одними и тѣми же коэффиціентами для какой бы то ни было температуры опыта Но есть, напротивъ, и такія жидкости, которыя требуютъ для низкихъ температуръ и для температуръ приближающихся къ точкѣ кипѣнія, различныхъ коэффиціентовъ. Къ этимъ послѣднимъ принадлежитъ вода.

Слѣдующая засимъ таблица содержитъ часть результатовъ, обнародованныхъ Пьерромъ

Названіе веществъ.	Средній коэффиціентъ расширенія: при 0°	при точкѣ кипѣнія.	Удѣльный вѣсъ при 0	Температура кипѣнія.
Уксусно-кислая окись эѳ ла.	0,001 258 496	0,001 489 001	0,907	74,1
» меѳила.	0,001 295 054	0,001 484 159	0,867	79,5
Алькоголь амиловый . .	0,000 890 011	0,001 068 560	0,827	131,8
» эѳировый .	0,001 048 630	0,001 195 509	0,815	78,3
» меѳировый .	0,001 185 570	0,001 329 747	0,821	63,0
Бромистый меѳилъ . .	0,001 415 206	0,001 493 693	1,664	13,0
» эѳилъ	0,001 337 628	0,001 448 731	1,473	40,7
Іодистый меѳилъ .	0,001 199 591	0,001 327 135	2,199	43,8
» эѳилъ . . .	0,001 142 251	0,001 263 687	1,975	70,0
Масляно-кислая окись эѳ ла.	0,001 202 702	0,001 439 571	0,902	119,0
» меѳ ла.	0,001 239 896	0,001 440 012	1,029	102,1
Альдегидъ	0,001 653 523	0,001 827 064	0,805	22,0
Бромъ	0,001 038 186	0001 167 673	3,187	63,0
Хлороформъ . .	0,001 107 146	0,001 320 490	1,525	63,5
Хлорный эѳиръ .	0,001 574 578	0,001 607 429	0,921	11,0
Хлористый кремній . .	0,001 294 119	0,001 563 537	1,524	59,0
Сѣрный эѳиръ .	0,001 513 245	0,001 647 354	0,736	35,5
	0,001 118 932	0,001 282 410	1,280	84,9
Сѣрнистый углеродъ . . .	0,001 139 804	0,001 249 336	1,293	47,9

166. Отношеніе между расширяемостью и сжимаемостью.— Пьеррь не могъ найти простаго отношенія между расширяемостью испытуемыхъ жидкостей и другими ихъ физическими свойствами, вообще весьма мало извѣстными.

При сравненіи небольшаго числа жидкостей, расширяемость а равно и сжимаемость которыхъ извѣстны, мы видѣли, что жидкости наиболѣе расширяющіяся суть тѣ, которыя сжимаются съ наибольшею легкостью. Замѣтимъ, во-первыхъ, что ртуть составляетъ наименѣе сжимаемую и, въ то же время наименѣе расширяемую жидкость, а эѳиръ расширяется болѣе всѣхъ другихъ и въ то же время одаренъ и наибольшею сжимаемостью. Расположивъ небольшое чи-

сло жидкостей, по порядку относительной ихъ сжимаемости, мы получимъ слѣдующій рядъ: *эѳиръ, алькоголь, скипидарная эссенція, хлороформъ, вода, ртуть;* а по порядку расширяемости: *эѳиръ, хлороформъ, алькоголь, скипидарная эссенція, вода, ртуть.* Два эти ряда, какъ мы видимъ, не совершенно тожественны; но если мы примемъ въ соображеніе, что расширенія бо́льшей части этихъ жидкостей соотвѣтствуютъ среднимъ коэффиціентамъ между 0° и 100°, и что различныя жидкости не слѣдуютъ одному и тому же закону, относительно увеличенія ихъ расширенія, то мы убѣдимся, что вышеизложенный законъ выражается съ бо́льшею еще точностью, нежели сколько можно было того ожидать. Для полученія болѣе точныхъ результатовъ слѣдовало бы по настоящему, сравнивать сжиманія жидкостей, начиная отъ точки кипѣнія, съ жимаемостью ихъ при этой температурѣ. Но для этого у насъ вовсе недостаетъ данныхъ. Замѣтимъ еще, что расширеніе одной и той же жидкости увеличивается съ температурою, и что то же бываетъ часто и относительно сжимаемости

Законъ распространяется повидимому на всѣ тѣла. Твердыя тѣла *расширяются менѣе жидкихъ*, имѣющихъ бо́льшую сжимаемость нежели первыя, а жидкости расширяются менѣе газовъ, сжимаемость которыхъ въ значительной степени превышаетъ сжимаемость всѣхъ другихъ тѣлъ. Между твердыми тѣлами наиболѣе расширяющіяся суть тѣ, которыя имѣютъ наименьшій коэффиціентъ упругости, т.-е. которые сжимаются легче другихъ. Въ слѣдующихъ двухъ рядахъ показанъ порядокъ, которому слѣдуютъ тѣла относительно ихъ расширяемости и сжимаемости.

Цинкъ, свинецъ, олово, серебро, золото, палладіумъ, мѣдь, платина, сталь, желѣзо, стекло.

Свинецъ, олово, золото, серебро, цинкъ, палладіумъ, платина мѣдь, сталь, желѣзо, стекло.

Физическое состояніе этихъ тѣлъ а равно и механическія дѣйствія, которымъ тѣла эти были подвержены, должны значительно измѣнять коэффиціентъ ихъ упругости; по этому не удивительно различіе замѣчаемое въ этихъ двухъ рядахъ. Расширяемость увеличивается вмѣстѣ съ температурою; то же самое бываетъ и со сжимаемостью, ибо извѣстно, что коэффиціентъ упругости твердыхъ тѣлъ уменьшается съ возвышеніемъ температуры. Наконецъ кристаллы, которыхъ упругость различна по различнымъ направленіямъ,

имѣютъ также не одинаковое расширеніе (154) по всѣмъ этимъ направленіямъ.

Мы видѣли, что сжимаемость газовъ увеличивается съ увеличеніемъ давленія, въ особенности у тѣхъ изъ нихъ, которые легко превращаются въ капельно-жидкое состояніе. Мы вскорѣ увидимъ, что чѣмъ болѣе сжатъ газъ, тѣмъ больше бываетъ коэффиціентъ его расширенія. Сверхъ того углекислый газъ, который сжимается болѣе воздуха, расширяется также болѣе этого послѣдняго, что также подтверждаетъ изложенный нами законъ.

II. Расширеніе воды.—Максимумъ плотности.

167. Наибольшая плотность воды. - Весьма естественно, что вода составляетъ жидкость, расширеніе которой было наиболѣе изслѣдовано. Причину этого надобно искать нетолько въ томъ, что вода болѣе другихъ жидкостей повсюду распространена, но и въ особеннаго рода явленіи, которое долгое время было оспариваемо и точное объясненіе котораго было предметомъ большаго числа изысканій. Явленіе это состоитъ въ томъ, что вода, вмѣсто-того чтобы расширяться, при нагрѣваніи ея отъ 0 до 4°, напротивъ, сжимается и только начиная отъ 4° слѣдуетъ обыкновеннымъ законамъ расширенія жидкостей, т.-е расширяется все болѣе-и-болѣе. Слѣдовательно, наименьшій объемъ или наибольшую плотность вода имѣетъ при 4°.

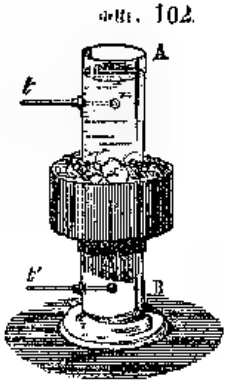
Замѣчательное это явленіе было открыто флорентинскими академиками въ 1670, охлаждая воду въ термометрической трубкѣ, они увидѣли, что передъ достиженіемъ 0° уровень воды сталъ вновь подниматься. Докторъ Краунъ (Croune) повторилъ этотъ опытъ въ 1683 г. и вывелъ изъ него то заключеніе, что вслѣдствіе дѣйствія холода вода расширяется, начиная отъ температуры близкой къ точкѣ замерзанія. Гукъ (Hooke) на это возразилъ, что результатъ этотъ только кажущимся и что онъ зависитъ единственно отъ болѣе быстраго сжиманія оболочки. Мнѣніе это раздѣляло вмѣстѣ съ Гукомъ большее число ученыхъ.

Благденъ (Blagden), замѣтивъ, въ 1788 году, что вода нѣсколько насыщенная солью и замерзающая при болѣе низкой температурѣ, чѣмъ чистая вода, представляетъ наибольшее сжатіе на томъ же разстояніи отъ ея точки замерзанія, принялъ этотъ фактъ какъ дѣй-

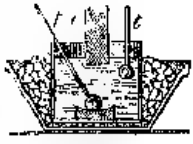
ствительно существующій. Делюкъ, Румфортъ, Гаю (Haüy, присоединились къ этому мнѣнію

Для разрѣшенія всѣхъ сомнѣній слѣдовало произвести опытъ, въ которомъ было бы устранено вліяніе расширенія оболочки Опытъ этотъ произвели Траллесъ (Tralles въ Швейцаріи и Гопъ Норе) въ Шотландіи; ученые эти сравнили плотности воды при 0° и нѣсколько выше нуля. Гопъ наполнилъ водою, имѣвшею 0°, глубокій сосудъ снабженный двумя термометрами, изъ которыхъ одинъ былъ внизу, а другой вверху. Поставивъ этотъ сосудъ на воздухъ, температура котораго была 15°, Гопъ замѣтилъ, что нижній термометръ первый поднялся до 4°, тогда-какъ верхній еще показывалъ 0°; откуда Гопъ заключилъ, что вода при 4° имѣетъ бо́льшую плотность, чѣмъ при 0°. Тотъ же опытъ Гопъ произвелъ на оборотъ, употребивъ воду имѣвшую 10° и погрузивъ сосудъ въ ледъ, по прошествіи четырехъ часовъ нижній термометръ сдѣлался постояннымъ, остановившись на 4°, тогда-какъ верхній продолжалъ опускаться до 0°. Наконецъ Гопъ произвелъ еще опытъ помощью снаряда, изображеннаго на фиг. 102-й, обыкновенно употребляемаго въ физическихъ кабинетахъ и извѣстнаго подъ названіемъ *снаряда съ вѣнцомъ* appareil à couronne, кольцеобразный тазъ *c* окружаетъ среднюю часть цилиндрическаго сосуда, наполненнаго водою, которой температура 0°, въ тазъ *c* наливаютъ горячей воды и вскорѣ послѣ этого термометръ *t'* показываетъ 4°, тогда-какъ термометръ *t* еще показываетъ 0°. Или же, наоборотъ, наполняютъ сосудъ водою имѣющею болѣе 4° и въ тазъ *c* кладутъ охлаждающую смѣсь, по прошествіи нѣкотораго времени *t* показываетъ 4°, а *t* понижается до 0°. Впослѣдствіи Румфортъ употреблялъ слѣдующій снарядъ фиг 103), сосудъ наполненный водою имѣющею 0° окруженъ тающимъ льдомъ, въ воду эту погружаютъ нагрѣтое тѣло *c* и вскорѣ замѣчаютъ, что термометръ *t*, поддерживаемый пробкою, показываетъ 4°, въ то время какъ термометръ *t'* все-еще показываетъ 0°. Слѣдовательно, вода нагрѣтая до 4° падаетъ на дно сосуда, что доказываетъ, что она плотнѣе чѣмъ вода при 0°

фиг. 102.



фиг. 103.



Расширеніе вѣды ниже нуля. Принимая нѣкоторыя предосторож-

пости, можно, какъ мы увидимъ далѣе, довести воду до температуры ниже нуля, и несмотря на то, она при этомъ не замерзаетъ; вода, охлаждаясь, продолжаетъ въ этомъ случаѣ расширяться тогда-какъ ледъ при тѣхъ же температурахъ сжимается (153). Благденъ, уже въ 1788 г, указалъ на этотъ фактъ, который и былъ подтвержденъ впослѣдствіи.

168. Методы опредѣленія наибольшей плотности — Такимъ образомъ фактъ о существованіи наибольшей плотности воды не подлежитъ никакому сомнѣнію, а относительно точнаго опредѣленія температуры, при которой обстоятельство это имѣетъ мѣсто, было произведено множество опытовъ. Делюкъ употреблялъ для этого водяной термометръ, наблюдая измѣненіе его высоты при охлажденіи вблизи 0°. Траллесъ и Гопъ употребляли указанный выше гидростатическую методу, а Дальтонъ производилъ опыты по способу изображенному на фиг. 103. Джильпинсъ (Gilpins) и Благденъ брали плотность воды при различныхъ температурахъ, опредѣляя вѣсъ воды въ стклянкѣ при разныхъ температурахъ, причемъ каждый разъ они приводили вѣсъ воды къ тому, чему бы онъ равнялся, еслибъ стклянка сохраняла одну и ту же емкость при всѣхъ температурахъ: пусть p вѣсъ воды содержащейся въ стклянкѣ при температурѣ t°; тогда, еслибы стклянка имѣла емкость соотвѣтствующую температурѣ 0°, то вѣсъ этотъ былъ бы только $p(1+Kt)$, гдѣ K коэффиціентъ кубическаго расширенія стекла, ибо вѣсы одной и той же жидкости пропорціональны объемамъ.

При введеніи во Франціи метрической системы мѣръ и вѣсовъ, Лефебръ-Жиньо (Lefèbre-Gineau) взвѣшивалъ, для опредѣленія величины грамма, нѣкоторое количество латуни въ водѣ, имѣвшей различныя температуры, и потомъ сравнивалъ между собою потери вѣса, приводя ихъ каждый разъ къ тому, чему бы равнялись эти потери, еслибы масса не измѣняла объема. Методъ этой послѣдовали также Бишофъ (Bischoff) и Гельстремъ (Hällström). Гельстремъ дѣйствовалъ слѣдующимъ образомъ *): онъ взвѣшивалъ въ воздухѣ стеклянный шаръ наполненный пескомъ, принимая при этомъ въ разсчетъ потерю вѣса, происходящую отъ вытѣсненнаго воздуха. Шаръ этотъ, подвѣшенный на волоскѣ, погружали потомъ въ воду, которой температура t была извѣстна; потеря вѣса означала вѣсъ вытѣсненной во-

*) Annales de chimie et de physique, 2 série, t. XXVIII.

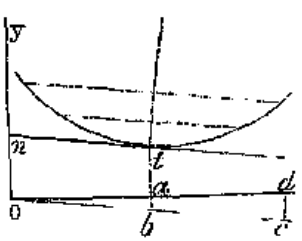
ды. Вѣсъ этотъ Гельстремъ приводилъ потомъ къ тому, чему бы онъ равнялся, еслибъ шаръ сохранилъ свой объемъ соотвѣтствующій 0°. Такимъ-образомъ, если p выражаетъ потерю вѣса, то послѣ поправки потеря будетъ $p\ 1 + Kt$. Потери вѣса въ водѣ при различныхъ температурахъ содержатся между собою какъ плотности, а объемы равныхъ вѣсовъ обратно пропорціональны этимъ плотностямъ

Расширеніе стекла онъ измѣрялъ посредствомъ трубокъ, сдѣланныхъ изъ того же стекла, изъ котораго были выдуты стеклянные шары Сосудъ, содержавшій воду, находился въ ваннѣ наполненной этою же самою жидкостью; температуру ванны измѣняли посредствомъ примѣси горячей воды или снѣгу

Гельстремъ нашелъ наибольшую плотность воды при 4°,1, онъ составилъ также таблицы, показывающія объемъ и плотность воды принимая за единицу объемъ и плотность какъ при 0°, такъ и при 4°,1,

Въ обширномъ сочиненіи о расширеніи воды, отъ — 9° и до 100°, обнародованномъ въ 1813 г. *), Депре (Desprez) опредѣлилъ наибольшую плотность этой жидкости при температурѣ 4°. Депре слѣдовалъ при этомъ двумъ различнымъ методамъ. Первая изъ нихъ основана на употребленіи термометрическихъ трубокъ, коэффиціентъ расширенія которыхъ опредѣлялся непосредственно, помощію коэффиціента абсолютнаго расширенія ртути Два изъ такихъ водяныхъ термометровъ погружались въ мѣдный сосудъ наполненный водою и перемежались ртутными термометрами, которыхъ нуль повѣрялся при каждомъ новомъ опытѣ. Самый сосудъ погружали въ охлаждающую смѣсь, или же въ болѣе или менѣе холодную воду. Потомъ проводили кривую, абсциссы которой были температуры, а ординаты—линіи, пропорціональныя (фиг 104) дѣленіямъ водяныхъ термометровъ. Кривая эта, до нѣкотораго разстоянія отъ максимума плотности, мало разнится отъ параболы, и представляетъ измѣненія кажущагося расширенія. Для того чтобы ввести въ разсчетъ измѣненія объема оболочки, берутъ извѣстную температуру $od = t°$, и на вертикальной dc,

Фиг. 104.



*) Annales de chimie et de physique, 3 serie, t XXI et XXII.

длину равную расширению трубки на t. Линія oc представитъ тогда правильныя расширенія стекла между 0° и t°. Абсолютныя же расширенія жидкости выразятся длинами ординатъ, взятыми отъ линіи oc. Проведя параллельно къ этой линіи касательную къ кривой, мы получимъ въ точкѣ прикосновенія температуру oa, при которой объемъ жидкости будетъ наименьшій, а плотность наибольшая. Способъ этотъ, повидимому, заключаетъ нѣкоторую неточность въ опредѣленіи точки касанія; но какъ кривая эта составляетъ параболу въ смежности съ искомою точкою касанія, то точка эта получится съ точностью, если мы проведемъ двѣ хорды параллельныя oc и чрезъ середину ихъ секущую, которая и пересѣчетъ кривую въ искомой точкѣ касанія.

Депрé также употреблялъ интерполяціонный способъ вычисленія, который далъ тѣ же результаты, какъ и графическій способъ, и такимъ-образомъ онъ полагаетъ наибольшую плотность воды при 4°. Число это болѣе точно, нежели всѣ прочія найденныя до того времени, по причинѣ тщательности, съ которою Депрé производилъ свои опыты, а равно и потому, что онъ принялъ въ соображеніе всѣ причины неточности ускользнувшія отъ предшествовавшихъ ему ученыхъ или же оставленныя ими безъ вниманія.

Депрé употребилъ еще третій способъ, основанный на равновѣсіи столба воды, въ которую были погружены, на различной глубинѣ, четыре термометра. Вода при 0° или 10° была подвержена дѣйствію наружной атмосферы въ 10° или 0°; для начертанія кривой температуръ каждаго термометра, онъ бралъ за абсциссы длины, представлявшія минуты, а за ординаты самыя температуры. Полученныя такимъ-образомъ четыре кривыя, вмѣсто-того чтобы пересѣкаться въ одной точкѣ, — ордината которой и была бы наибольшая температура, — пересѣкались и измѣняли направленіе по нѣскольку разъ въ близости отъ точки максимума, температуру котораго получали, взявъ среднюю всѣхъ температуръ, соотвѣтствующихъ этимъ пересѣченіямъ и измѣненіямъ.

Депрé составилъ также таблицы, показывающія объемы и плотности воды чрезъ каждый градусъ, начиная отъ —9° до 100°. Онъ нашелъ, что расширеніе воды при охлажденіи ниже 4° нѣсколько значительнѣе, нежели соотвѣтствующія расширенія при нагрѣваніи свыше 4°. Мы помѣщаемъ здѣсь таблицу объемовъ и плотностей воды отъ —9° до 30°, потому-что знаніе этихъ количествъ бываетъ

часто необходимо при произведеніи опытовъ для измѣренія плотностей.

Температуры	Объемы.	Плотности.	Температуры	Объемы.	Плотности.
— 9	1,0016314	0,998371	12	1,0004724	0,999527
— 8	1,0013734	0,998628	13	1,0005862	0,999414
— 7	1 0011354	0,998865	14	1,0007146	0,999285
— 6	1,0009184	0,999082	15	1,0008751	0,999125
— 5	1,0006987	0,999302	16	1,0010215	0,998979
— 4	1,0005619	0,999437	17	1,0012067	0,998794
— 3	1,0004222	0,999577	18	1,00139	0,998612
2	1,0003077	0,999692	19	1,00169	0,998422
— 1	1,0002138	0,999786	20	1,00179	0,998213
0	1,0001269	0,999873	21	1,00200	0,998004
1	1,0000730	0,999927	22	1,00222	0,997784
2	1,0000331	0,999966	23	1,00244	0,995566
3	1,0000083	0,999999	24	1,00271	0,997797
4	1 »	1 »	25	1,00293	0,997078
5	1,0000082	0,999999	26	1,00321	0,996800
6	1,0000309	0,999969	27	1,00345	0,996562
7	1,0000708	0,999929	28	1,00374	0,996274
8	1,0001216	0,999878	29	1,00403	0,995986
10	1,0002684	0,999731	30	1,00433	0,995688
11	1,0003598	0,999640	100	1,04315	0,958634

169. Максимумъ плотности водяныхъ растворовъ. — Кромѣ чистой воды, опредѣляли максимумъ плотности для другихъ жидкостей. Вниманіе въ этомъ случаѣ было въ-особенности обращено на

морскую воду. Нѣкоторые изъ ученыхъ принимали въ этой жидкости максимумъ плотности; другіе напротивъ отвергали это мнѣніе Мунке въ 1837 г. выводъ, изъ составленныхъ имъ интерполяціонныхъ формулъ, максимумъ плотности для искусственной морской воды при температурѣ—5°, 25. Депре нашелъ уже въ 1832 г. что морская вода и водяные растворы имѣютъ максимумъ плотности, но что максимумъ этотъ обнаруживается ниже точки замерзанія, если только въ растворѣ воды находится нѣсколько значительное количество растворенпаго вещества. Нижеслѣдующая таблица показываетъ главные результаты, найденные Депре посредствомъ способа, основаннаго на употребленіи водянаго термометра.

Вещества.	Вѣсъ вещества на 997,45 воды.	Максимумъ.	Температура замерз. жидкост.	Вещества.	Вѣсъ вещества на 997,45 воды	Максимумъ.	Температура замерз. жидкост.
Вода морская		—3°,67	— 1,88	Сѣрнокислый натръ.....	6,173	+2°,52	—0,17
Хлористый натръ	12,346	+ 1,19	— 0,71	id.....	12,346	+ 1,15	—0,36
id.....	24,692	— 1,69	— 1,41	id.....	24,692	— 1,51	—0,68
id.....	37,039	— 4,75	— 2,12	id.....	37,039	— 4,33	-1,30
id.	74,078	—16,00	— 4,30	Углекис. калі	37,039	— 3,95	—3,21
Хлорис. кальцій.	6,173	+ 3,24	— 0,22	id.....	74,078	—12,41	—2,25
id	12,346	+ 2,05	— 0,53	Углекислый натръ.....	57,996	— 7,01	—2,85
id.....	24,692	+ 0,06	— 1,03	id.....	37,39	17,30	2,20
id.....	37,039	— 2,43	— 3,92	Сѣрнокислая мѣдь.....	74,078	— 0.62	—1,32
id.....	74,078	—10,43	— 5,28	Поташъ чист.	37,39	— 5,64	—2,10
Сѣрнокислое кали.....	6,173	+ 2,92	— 0,15	id.....	74,078	—15,95	—4 33
id.....	12,346	+ 1,91	— 0,27	Алькоголь..	12,346	+ 2,30	—2,83
id	24,692	— 0,11	— 0,55	Сѣрная кислота	24,692	+ 0,60	—0,44
id	37,039	— 2,28	— 2,09	id.....	24,692	— 1,92	—1,00
id.	74,078	— 8,37	— 4,08	id.....	37 039	5,02	—1,34

Показанныя здѣсь температуры замерзанія суть тѣ, которыя замѣчаются при приведеніи жидкостей въ движеніе. Изъ разбора этой таблицы выходитъ: 1-е, морская вода и водяные растворы имѣютъ максимумъ плотности, 2-е, максимумъ плотности понижается быстрѣе, чѣмъ точка замерзанія; 3-е, пониженія замерзанія ниже нуля и пониженія максимума плотности ниже 4° почти пропорціональны количеству растворенпаго въ водѣ вещества.

Существованіе максимума плотности въ водѣ должно быть приведено въ соотношеніе съ тѣмъ обстоятельствомъ, что жидкость эта при замерзаніи быстро увеличивается въ объемѣ; тогда явленіе максимума можно объяснить такимъ-образомъ, что составныя частицы воды начинаютъ, еще въ жидкомъ состояніи, принимать относительныя положенія соотвѣтствующія твердому состоянию воды, въ которомъ они занимаютъ бо́льшее пространство. Стремленіе это обнаруживается все болѣе-и-болѣе въ случаяхъ, гдѣ вода остается въ жидкомъ состояніи ниже точки замерзанія. Для подтвержденія этого мнѣнія слѣдовало бы подвергнуть наблюденіе вещества увеличивающіяся въ объемѣ при отвердѣніи; но какъ вещества эти плавятся при весьма высокихъ температурахъ, то подобный опытъ произведенъ быть не можетъ. Дерре по-крайней-мѣрѣ доказалъ, что *маргариновая* и *олеиновая кислоты*, *стеаринъ*, *оливковое масло*, *спермацетъ*, *парафинъ*, *нафталинъ* и *сѣра*, уменьшающіяся въ объемѣ при отвердѣніи, не имѣютъ максимума плотности.

170. Объясненіе нѣкоторыхъ явленій. — Соссюръ (Saussure) замѣтилъ, во время своего путешествія въ Альпахъ, что температура воды на днѣ глубокихъ озеръ всегда равняется 4°, въ какое бы ни было время года. Фактъ этотъ, замѣченный впослѣдствіи и во многихъ другихъ странахъ, легко объясняется теперь, когда извѣстно, что вода имѣетъ наибо́льшую плотность при температурѣ 4°. Какъ-только вода на поверхности озера достигаетъ этой температуры, она тотчасъ же опускается на дно, гдѣ уже не можетъ болѣе нагрѣваться, если глубина озера достаточно велика для того, чтобы солнечные лучи были вполнѣ поглощаемы сверхлежащими слоями воды.

Ледяные колодези. Такъ называются цилиндрическія углубленія, открытыя Румфортомъ въ глечерахъ; на днѣ этихъ углубленій всегда находится какое-либо тѣло, въ родѣ обломка камня, или засохшаго листа. Образованіе этихъ углубленій объясняется слѣдующимъ образомъ: тѣло находящееся на поверхности льда, нагрѣвается дѣй-

ствіемъ солнечныхъ лучей и расплавляетъ лежащій около него и подъ нимъ ледъ. Образовавшаяся такимъ-образомъ отъ таянія вода, подвергается дѣйствію солнца и нагрѣтая до 4° опускается на дно углубленія; здѣсь она охлаждается, уступая часть теплоты льду, который отчасти растаиваетъ, и вода сдѣлавшись менѣе плотною вновь поднимается къ поверхности. Такимъ-образомъ она вновь нагрѣвается до 4°, опять возвращается на дно и такъ далѣе самое же углубленіе становится вслѣдствіе этого все глубже-и-глубже, и это продолжается до-тѣхъ-поръ, пока дно его не дойдетъ до какой-либо трещины, чрезъ которую наконецъ вода уходитъ —чѣмъ и прекращается самое явленіе

§ 3. Расширеніе газовъ.

I. Измѣреніе расширенія газовъ.

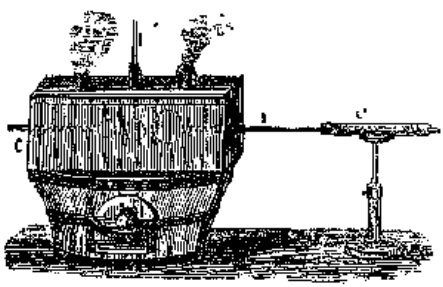
171. Газы расширяются гораздо болѣе твердыхъ тѣлъ и жидкостей, и потому, несмотря на чрезвычайную сжимаемость газовъ, можно, достаточно нагрѣвая, расширеніемъ ихъ разбить отклянку изъ тонкаго стекла или разорвать пузырь, которые ими наполнены. Оксби (Hauksbee) и Амонтонъ (Amontons) были первые, которые пытались опредѣлить коэффиціентъ расширенія воздуха. Амонтонъ погружалъ въ теплую воду приборъ, подобный Маріоттовой трубкѣ, употребляя его при разныхъ давленіяхъ воздуха. Лаиръ (Lahire), производя опыты по тому же, но немного измѣненному, способу, узналъ, въ одно время съ Станкари (Stancari) изъ Болоньи, что влажность значительно увеличиваетъ расширяемость воздуха. Руа (Roy) и Соссюръ (Saussure) нагрѣвали шаръ, наполненный воздухомъ и измѣряли давленіе пріобрѣтаемое этимъ газомъ, при разныхъ температурахъ. Прителей (Prietsley) первый началъ производить опыты надъ различными газами; онъ ихъ заключалъ въ приборъ, подобный воздушному термометру; индексъ изъ ртути отдѣлялъ ихъ отъ наружнаго воздуха. Монжъ (Monge), Бертоле (Berthollet), и Вандермондъ (Vandermonde) производили свои опыты надъ воздухомъ и надъ водородомъ. Гюйтонъ (Guyton) и Пріэръ-Дюверпуа (Prieur-Duvernois) наполняли газомъ шаръ при 0°; этотъ газъ, нагрѣваясь, выходилъ вонъ и его, посредствомъ изогнутой трубки, собирали надъ ртутью Приводя собранный газъ къ 0°, они по этому опредѣляли объемъ оставшагося газа при той же температурѣ и расшире-

ніе сего послѣдняго выражалось объемомъ вышедшаго газа Шарль (Charles объявилъ, что газы, нерастворимые въ водѣ, расширяются одинаково. Въ это именно время Гэ-Люссакъ (Gay-Lussac) изъ своихъ знаменитыхъ опытовъ вывелъ законъ расширенія газовъ. Въ началѣ онъ употреблялъ способъ Пріэра-Дюверпуа, а потомъ поступалъ по болѣе точному, который мы теперь и опишемъ.

172. Законъ расширенія газовъ. — Долгое время полагали, особенно послѣ опытовъ Притслей, Руа, Соссюра и Пріэра, что газы расширяются неодинаково. Лапласъ (Laplace), во время разсужденій, бывшихъ въ Институтѣ, по поводу опытовъ Пріэра, имѣлъ смѣлость предсказать неточность результатовъ этихъ опытовъ, замѣчая что, такъ-какъ газовыя частицы не обнаруживаютъ чувствительнаго между собою взаимнаго притяженія, то равныя приращенія теплоты должны расширять ихъ одинаково. По его именно просьбѣ Гэ-Люссакъ предпринялъ свои опыты, изъ которыхъ и вывелъ, что, при давленіи около $0^m,76$ и между 0° и 100° всѣ газы имѣютъ одинаковый коэффиціентъ расширенія. Дальтонъ Dalton), со своей стороны, пришелъ къ тому же результату. Если до этого времени находили разницу въ расширеніяхъ газовъ, то это потому, что недостаточно брали предосторожностей для совершеннаго ихъ осушенія; случалось даже, что и для одного и того же газа получались разные выводы

Опыты Гэ-Люссака Изслѣдываемый газъ наполнялъ термометрическую трубку *г* (фиг. 105), дѣленія которой, равныя по объему, были въ извѣстномъ отношеніи къ объему резервуара Для наполненія этой трубки сухимъ газомъ, Гэ-Люссакъ вначалѣ наполнилъ ее прокипяченною ртутью, какъ-бы для приготовленія изъ нея термометра, потомъ приставилъ къ ея оконечности толстую стеклянную трубку *с*, наполненную кусками хлористаго кальція; опрокинувъ послѣ этого приборъ и поставивъ его вертикально, онъ впускалъ въ трубку платиновую проволоку и посредствомъ нѣсколькихъ сотрясеній прибора, заставлялъ газъ скользить между ртутью и платиновою проволокою и вступать въ резервуаръ,

фиг. 105.



совершенно осушенным отъ прохожденія сквозь хлористый кальцій. Платиновая проволока вынималась изъ трубки, когда въ послѣдней оставалась еще капля ртути, употребленная вмѣсто индекса. Потомъ эта трубка, посредствомъ пробки, была укрѣплена въ ящикѣ, наполненномъ водою и поставленномъ на очагъ (фиг. 105). По термометрамъ t, t' опредѣлялась температура этой воды. Газовая трубка была вдвинута во внутренность ящика, такъ-что индексъ оказался у самой его стѣнки: чрезъ это весь газъ пріобрѣталъ температуру ванны.

Пусть v объемъ газа, когда вода при 0 и v' его объемъ, когда вода доведена до температуры t°; въ этомъ послѣднемъ случаѣ объемъ, дѣйствительно занимаемый газомъ, есть $v'(1+Kt)$, K коэффиціентъ расширенія стекла. Пусть h и h'—высоты барометра во время наблюденій объёмовъ v и v'. Объемъ газа $v'(1+Kt$ приведенный къ давленіе h, окажется $v'(1+Kt)\frac{h'}{h}$; и потому увеличеніе объема, произведенное теплотою, будетъ $v'(1+Kt)\frac{h'}{h}-v$; а коэффиціентъ расширенія газа, т.-е. увеличеніе единицы его объёма и только для 1° температуры, окажется

$$a=\frac{v'(1+Kt)\frac{h'}{h}-v}{vt}.$$

Пренебрегая поправкой соотвѣтствующей расширенію стекла и принимая, что атмосферное давленіе не перемѣнилось, имѣемъ $v=\frac{v'-v}{vt}$ Этотъ способъ не можетъ быть употребляемъ при температурахъ высшихъ 100°; потому-что тогда образуются довольно замѣтные ртутные пары, и потому индексъ будетъ отодвигаемъ упругостію этихъ паровъ, соединенною съ упругостію изслѣдываемаго газа. Этимъ путемъ Гэ-Люссакъ нашелъ, что *газы расширяются одинаково*, будутъ ли они простые или сложные, чистые или смѣшанные и что всѣхъ ихъ коэффиціентъ расширенія между 0° и 100° постояненъ и равенъ $\frac{1}{267}=\frac{3}{800}=0{,}00375$.

Эта тожественность коэффиціента расширенія всѣхъ газовъ, составляетъ одинъ изъ самыхъ интересныхъ законовъ физики. Для его повѣрки впускаютъ различные газы въ трубки, расположенныя надъ ртутью; газы должны быть сухи и занимать одинаковую длину во всѣхъ трубкахъ; подвергая ихъ одинаковой температурѣ, удо-

стоверяются, что ртуть во всѣхъ ихъ перемѣщается одинаково. Мы скоро увидимъ, что этотъ законъ не такъ точенъ, какимъ его прежде считали.

173. Формулы расширенія газовъ. — Если V представляетъ объемъ газа при температурѣ 0°, то V' объемъ его при температурѣ t, будетъ

$$(\alpha)\quad V' = V\left(1+\frac{t}{267}\right), \text{ откуда } (\beta)\ V = V'\frac{267}{267+t}.$$

Величина (β) служитъ для выраженія объема при 0° въ функціи объема при t°; поэтому объемъ V'' при t''° въ функціи объема V' при t'° найдется изъ (γ) $V'' = V'\frac{267+t'}{267+t''}$. Для каждаго градуса температуры объемъ газа увеличивается на $\frac{1}{267}$ своего объема при 0°, такъ-что эти объемы увеличиваются въ ариѳметической прогрессіи. Изъ формулъ:

$$V' = V\frac{267+t'}{267},\quad V'' = V\frac{267+t''}{267}, \text{ получаемъ } \frac{V}{267} = \frac{V'}{267+t'} = \frac{V''}{267+t''},$$

что показываетъ, что 267-я часть объема при 0° можетъ быть замѣщена частію $\frac{1}{267+t'}$ объема при t'°. Вмѣсто формулы (γ) мы, поэтому, можемъ написать:

$$(\gamma)\quad V'' = V'\left(1+\frac{t''-t'}{267+t'}\right).$$

Дальтонъ принялъ, что расширеніе газа, при переходѣ его температуры отъ t° до $(t+1)$, составляетъ постоянное дробное отношеніе къ объёму при t°; такъ-что, слѣдуя ему, имѣли бы $V'' = V'\left(1+\frac{t''-t'}{267}\right)$, и тогда объёмы составили бы геометрическую прогрессію, коей показатель былъ бы $\frac{267+1°}{267}$. Мы видѣли (144) что, пренебрегая второю и слѣдующими высшими степенями коэффиціента расширенія, мы не найдемъ разницы между этою послѣднею формулою и формулою (γ). То же самое относится и къ газамъ до температуры 100°, но далѣе эти два закона даютъ результаты такіе, что разностію ихъ пренебрегать нельзя и тогда удобнѣе употреблять первую формулу, потому-что коэффиціентъ расширенія всегда опредѣляется изъ объёма при 0°

Измѣненіе давленія газа отъ теплоты. Разсмотримъ газъ вдавленіе котораго при 0° равно P; не увеличивая его объёма, возвысимъ его температуру до t°, тогда упругость его увеличится и это увеличеніе очевидно то же самое, какое получалось бы, еслибъ въ началѣ допустили свободное расширеніе газа, а потомъ привели бы его объемъ къ его первоначальной величинѣ. Но назвавъ чрезъ V объемъ при 0°, объемъ при t° окажется $V\left(1+\frac{t}{267}\right)$; если же мы его приведемъ къ первоначальному V, то газъ получитъ упругость P' опредѣляемую по формулѣ δ) $P'=P\left(1+\frac{t}{267}\right)$, выведенной изъ пропорціи $V:V\left(1+\frac{t}{267}\right)=P:P'$, или $P'=P\left(1+\frac{t}{267}\right)$ откуда также получимъ (ε) $P=P':\left(1+\frac{t}{267}\right)$ для давленія при 0° въ зависимости отъ бывшаго при t'. Такимъ-образомъ давленіе P' при t'°,—если объемъ, попрежнему, не перемѣнился,—опредѣлится изъ (ζ) $P'=P\frac{267+t'}{267+t}$.

Если же объемъ мѣняется, то означивъ чрезъ V' объемъ при давленіи P' и при температурѣ t' и чрезъ V'' его величину при давленіи P'' и при температурѣ t'', получимъ $P''=P'\cdot\frac{V'}{V''}\cdot\frac{267+t''}{267+t'}$. Итакъ самая общая формула есть

$$(\theta)\quad \frac{V''}{V'}=\frac{P'}{P''}\,\frac{267+t''}{267+t'}$$

174. Соизмѣримость показаній дифференціальнаго термометра съ показаніями ртутнаго—Въ видѣ приложенія предъидущихъ формулъ, сравнимъ эти два термометра. Разсмотримъ въ началѣ дифференціальный термометръ Лесли и при этомъ пренебрежемъ перемѣнами въ объёмѣ газовъ, находящихся по обѣ стороны жидкой колонны. Если температуры шариковъ термометра суть t и t', то для равновѣсія необходимо, чтобъ давленія воздуха съ обѣихъ сторонъ удовлетворяли формулѣ (ζ), изъ которой выводимъ $t''-t'=\frac{267+t'}{P'}(P''-P')$; но формула (ζ) показываетъ, что $\frac{267+t}{P}$ есть количество постоянное, а потому $t''-t'$ пропорціонально $P''-P'$, т.-е. пропорціонально разности высотъ въ обоихъ колѣнахъ.

Въ термоскопѣ Румфорта упругость съ обѣихъ сторонъ индекса одинаковая, но объемы измѣняются, такъ-что въ этомъ приборѣ имѣемъ

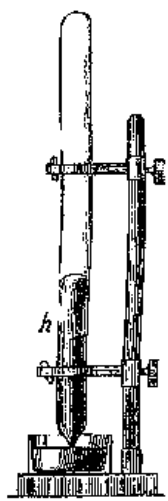
$V':V=267+t':267+t$, откуда $(V'-V):(V'+V)=(t'-t):(534+t+t')$

Но $(V' + V)$ есть величина постоянная, потому-что она представляетъ собою полный объёмъ прибора, расширеніемъ котораго можно пренебрегать, а $(t' + t)$ очень малая величина въ сравненіи съ числомъ 534; такъ-что $(t' - t)$ оказывается пропорціональнымъ разности $V' - V$, т.-е перемѣщеніе индекса, измѣряющему эту разность.

175. Расширеніе газовъ при высокихъ температурахъ. — Измѣряя температуру ртутнымъ термометромъ, коэффиціентъ расширенія газовъ оказывается постояннымъ до температуры 100°; очень было важно повѣрить этотъ результатъ, равно какъ и то, что всѣ газы расширяются одинаково выше 100°. Эту повѣрку и сдѣлали Дюлонгъ и Пти въ 1815 году *). Хорошо высушенный газъ былъ введенъ въ толстую трубку t, вытянутую на одномъ изъ своихъ концовъ и помѣщенную горизонтально въ ваннѣ наполненной масломъ, такъ чтобы вытянутый конецъ проходилъ сквозь стѣнку ванны. На той же высотѣ былъ въ ванну положенъ термометръ и его трубка также выступала снаружу, но передъ наблюденіемъ его вдыгали въ ванну, такъ, чтобы вся его ртуть въ ней находилась. Сквозь крышку ванны пропущено было нѣсколько термометровъ и стержней отъ мѣшалокъ, назначенныхъ для того, чтобъ содержать температуру одинаковою по всей массѣ масла.

Когда температура ванны была близка къ той, при которой хотѣли наблюдать, тогда запирали всѣ отверстія очага; температура продолжала еще нѣсколько возвышаться, но когда она установилась, тогда наблюдали термометръ, и паяльною трубкою закрывали вытянутое отверстіе газовой трубки. Когда послѣдняя охлаждалась, тогда ее (фиг 106) вертикально опускали въ сухую ртуть, вытянутымъ концомъ внизъ и потомъ подъ ртутью обламывали этотъ конецъ; жидкость поднималась въ трубку, катетометромъ измѣряли ея высоту и въ то же время наблюдали барометръ. Послѣ этого взвѣшивали трубку, сперва съ ртутью, которая только въ нее вошла, потомъ съ ртутью, совершенно ее наполняющею и, наконецъ, опредѣляли вѣсъ

фиг 106.



*) Annales de chimie et de physique, t. LXXI

совершенно пустой трубки. Все это производилось въ комнатѣ, которой температура t не мѣнялась. По этимъ взвѣшиваніямъ опредѣляли вѣсъ P ртути потребной для наполненія прибора при температурѣ t^0 и вѣсъ p ртути, которая при той же температурѣ имѣла бы объемъ равный тому, который занятъ газомъ. Эти величины P и p относятся между собою такъ, какъ пространства, наполняемыя соотвѣтственными массами ртути. Пусть H высота барометра въ то время какъ запаивали трубку; H' подобная же высота, когда отламывали запаянный ея конецъ, и h высота, до которой въ это время поднялась ртуть въ трубку Мы теперь опредѣлимъ объемъ газа при температурѣ 0 и при давленіи H, выводя его послѣдовательно изъ объемовъ при t^0 и при T^0. Но объемъ при t^0 и при давленіи $(H-h)$ можетъ быть выраженъ чрезъ p и потому при давленіи H и при 0^0 онъ будетъ равенъ $p\frac{H-h}{H}\cdot\left(1+\frac{t}{267}\right)$ согласно съ закономъ Мариота и формулою β) въ n^0 173. Мы здѣсь употребляемъ коэффиціентъ $\frac{1}{267}$, потому-что t^0 менѣе 100^0. При температурѣ T газъ занималъ весь объемъ трубки и потому этотъ объемъ выразится чрезъ $P[1+K(T-t)]$, гдѣ P представляетъ объемъ трубки при t^0, а K коэффиціентъ расширенія стекла. Означивъ чрезъ x средній коэффиціентъ расширенія газа между 0^0 и T^0, объемъ его при 0^0 и при давленіи H выразится чрезъ $P[1+K(T-t)]\cdot 1+xT$; приравнивая эту величину той, которая найдена выше для объема при 0^0 получимъ:

$$p\frac{H-h}{H}\cdot 1+\frac{t}{267}=P[1+K(T-t)]\cdot 1+xT;$$

отсюда и опредѣлится величина x

Въ началѣ Дюлонгъ и Пти испытывали воздухъ при температурахъ низшихъ 100^0 и при этомъ нашли тотъ же самый коэффиціентъ расширенія какъ и Гэ-Люссакъ; потомъ они въ своихъ опытахъ достигли до температуры около 300^0 и вывели изъ нихъ слѣдующіе результаты:

1) Воздухъ и водородный газъ расширяются одинаково между -36^0 и 100^0 ртутнаго термометра. Такъ-какъ эти два газа слишкомъ разнятся по своей плотности и по другимъ качествамъ, то Дюлонгъ и Пти считали возможнымъ обобщить и принять тожественность расширенія всѣхъ газовъ до температуры 300^0. Но эти два газа принадлежатъ къ такимъ, которые не могутъ быть приве-

дены въ капельное состояніе, а потому изъ предъидущаго ничего нельзя заключить для газовъ, способныхъ быть въ этомъ состояніи.

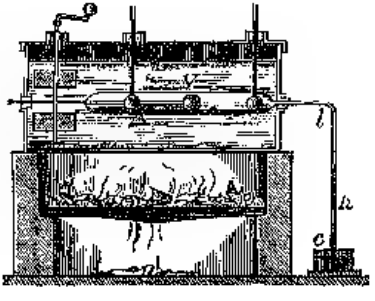
2) *По мѣрѣ увеличенія температуры, опредѣляемой по ртутному термометру, начиная съ температуры 100°, коэффиціентъ расширенія газовъ увеличивается.* Отсюда слѣдуетъ, что ртутный термометръ всегда показываетъ болѣе высокія температуры, чѣмъ термометръ, основанный на расширеніи воздуха. Сравнивая ихъ показанія Дюлонгъ и Пти нашли слѣдующіе результаты:

Ртутный термометръ	100°;	150°,	200°;	250°;	300°
Воздушный термометръ	100;	148,7;	197,05;	244,17;	291°,77
Разности	0;	1,3;	2,95;	5,83;	8°,23

Принимая коэффиціентъ расширенія воздуха постояннымъ и равнымъ $\frac{1}{267}$, температуру τ воздушнаго термометра, соотвѣтствующую показанію T^0 ртутнаго термометра, можемъ найдти изъ слѣдующаго уравненія $1 + \frac{\tau}{267} = 1 + x\,T$, гдѣ x представляетъ средній коэффиціентъ расширенія воздуха между 0^0 и T^0; подставивъ въ уравненіе (a) величину $1 + \frac{\tau}{267}$ вмѣсто $1 + x\,T$, получимъ изъ этого уравненія искомое количество τ.

176. Кромѣ изложеннаго способа Дюлонгъ и Пти употребляли еще другой, который привелъ ихъ къ тѣмъ же результатамъ. резервуаръ V, наполненный сухимъ воздухомъ, продолжался узкою трубкою l, которая, по выходѣ изъ масляной ванны, спускается вертикально (фиг. 107). Когда температура T, показываемая ртутнымъ термометромъ, перестанетъ измѣняться, тогда приближаютъ маленькую чашечку c, наполненную сухою ртутью такимъ-образомъ, чтобъ эта жидкость, какъ въ чашкѣ, такъ и въ трубкѣ l, стояла на той же высотѣ и въ то же время замѣчаютъ высоту H барометра. Потомъ когда приборъ охладится до температуры t наружнаго воздуха, тогда наблюдаютъ высоту h ртути въ вертикальной трубкѣ l и исправляютъ эту высоту отъ погрѣшности, производимой волосностію и опять замѣчаютъ высоту H' барометра. Чтобъ изъ этихъ данныхъ опредѣлить

фиг. 107



средній коэффиціентъ расширенія воздуха между t^0 и T^0, надо въ началѣ узнать длину l трубки и отношеніе r между ея объемомъ и объемомъ V резервуара. Принявъ все это и означивъ чрезъ δ и δ' плотности воздуха при t^0 и T^0 и при давленіи H, для выраженія вѣса воздуха, заключающагося въ приборѣ при T^0, получимъ слѣдующее: $Vr\delta + V[1 + K(T-t)]\delta' \frac{H'}{H}$, гдѣ K есть коэффиціентъ расширенія стекла, а t температура наружной части трубки l, начиная отъ стѣнки ванны. Когда приборъ совершенно охладился до температуры t^0, тогда давленіе внутренняго воздуха равно $H' - h$, а его плотность равна $\delta' \frac{H'-h}{H}$, и такъ-какъ этотъ воздухъ занимаетъ въ трубкѣ длину только $l - h$, то его объемъ равенъ $V + Vr\frac{l-h}{l}$ и слѣдовательно вѣсъ равенъ $V\left(1 + r\frac{l-h}{l}\right)\frac{H'-h}{H}\delta$, такъ-что приравнивая это выраженіе первому и раздѣляя всѣ члены на V, получимъ:

$$r\delta + [1 + K(T-t)]\delta' \frac{H'}{H} = \left(1 + r\frac{l-h}{l}\right)\delta \frac{H'-h}{H},$$

откуда и опредѣляется величина $\frac{\delta}{\delta'}$.

Но при томъ же давленіи H эти двѣ плотности находятся въ обратномъ отношеніи съ объемами той же массы воздуха при температурахъ t и T, и потому

$$\delta : \delta' = (1 + xT) : \left(1 + \frac{t}{267}\right), \text{ или } \delta : \delta' = 267 + \tau : 267 + t;$$

отсюда, по желанію, можемъ вывести или средній коэффиціентъ расширенія x между 0° и T^0 или температуру τ воздушнаго термометра, соотвѣтствующую показанію T ртутнаго.

Воздушный пирометръ. Мы видимъ, что описанный приборъ представляетъ собою настоящій воздушный пирометръ. При постоянной массѣ газа въ этомъ приборѣ, для опредѣленія величины τ, т.-е. температуры средины, въ которую онъ погруженъ, достаточно измѣрить высоту h и произвесть вышеприведенное вычисленіе. Именно этого рода пирометръ показанъ въ lm на фигурѣ 99-й.

177. О настоящемъ коэффиціентѣ расширенія воздуха. Коэффиціентъ расширенія 0.00375, данный Гэ-Люссакомъ и утвержденный опытами Дюлонга и Пти, былъ принимаемъ всѣми физиками до-тѣхъ-поръ, пока шведскій физикъ Рудбергъ не объявилъ, что

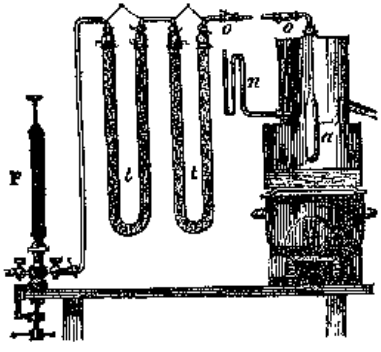
этотъ коэффиціентъ слишкомъ великъ и что его величина должна заключаться между 0,00364 и 0,00365 Опыты его производились двумя разными способами, одинъ изъ нихъ подобенъ тому, который употребляли Дюлонгъ и Пти, а другой основанъ на измѣреніи упругости, пріобрѣтаемой той же массою воздуха, при температурахъ 0° и 100°, когда объемъ его не мѣняется *).

Эти два способа были употреблены и усовершенствованы Реньо и мы сейчасъ покажемъ рядъ его прекрасныхъ опытовъ, которыми онъ, разными независимыми одинъ отъ другаго пріемами, съ чрезвычайною точностію положительно опредѣлилъ коэффиціентъ расширенія воздуха, равно какъ и многихъ другихъ газовъ.

178. Опыты Реньо. Реньо тотчасъ увидѣлъ, что ошибки, которымъ подверженъ способъ Гэ-Люссака, происходятъ отъ затрудненія, съ которымъ перемѣщается индексъ и отъ прохода малаго количества газа между стѣнками трубки и индексомъ до такой степени, что послѣдній, какъ замѣтилъ и Магнусъ, очень часто не возвращается на свое прежнее мѣсто, хотя приборъ и приведенъ къ 0°

Первый способъ. Этотъ способъ подобенъ тому, который описанъ Рудбергомъ въ его первой запискѣ. Воздухъ заключенъ въ цилиндрическій резервуаръ *a* (фиг 108, который на своемъ концѣ *o* будучи вытянутъ въ тонкую трубку, продолжается волосною трубкою, загнутою у этого конца подъ прямымъ угломъ. Этотъ резервуаръ посредствомъ пробки, укрѣплепъ въ паровой банѣ, одинаковой съ тою, которая представлена на фиг. 16-й (32). Для его осушенія и наполненія сухимъ воздухомъ, къ нему посредствомъ каучуковыхъ трубокъ *o*, *o* прикрѣпляютъ изогнутыя трубки *t*, *t*, наполненныя кусками пемзы, пропитанной концентрированной сѣрной кислотой и сообщающіяся съ воздушнымъ насосомъ *P*. Въ то время какъ въ банѣ вода кипитъ, въ резервуаръ *a* поочередно, разъ 30, то впускаютъ медленно воздухъ, то выкачиваютъ его изъ онаго. Чрезъ прикосновеніе съ кислотой, входящій воздухъ осушается, такъ-что наконецъ резервуаръ на-

фиг. 108.

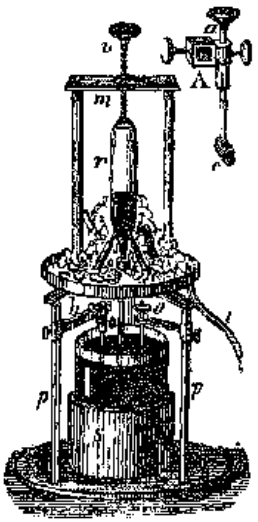


*) Извлеченіе опытовъ Рудберга, см. Annales de chimie et de physique, t. IV, 3e série.

полняется воздухомъ совершенно сухимъ, тогда отнимаютъ каучуковыя трубки *o*, *o*, а остроконечное отверстіе трубки *ao* запаиваютъ посредствомъ паяльной трубки и резервуаръ *a* оказывается наполненнымъ сухимъ воздухомъ при атмосферномъ давленіи и при температурѣ *T* кипящей воды.

По охлажденіи резервуаръ располагаютъ вертикально въ *r'* на подставкѣ *mpp'* (фиг 109), гдѣ стержни съ винтами поддерживаютъ его.

фиг 109.



Въ круглой доскѣ, чрезъ которую онъ проходитъ и дѣйствіемъ винта *n* доканчивается укрѣпленіе его на мѣстѣ. Ножка *p* держитъ маленькую ложечку, наполненную воскомъ и представленную въ сторонѣ въ *c* въ большемъ масштабѣ. Ножка же *p'* носитъ горизонтальный прутикъ, удерживающій вертикальный винтъ *o*, имѣющій обѣ свои оконечности заостренныя.

Укрѣпивъ приборъ, подставляютъ подъ него сосудъ со ртутью, такъ, чтобы вытянутая въ трубку оконечность резервуара *r* погрузилась въ жидкость на 5^{cm} или на 6^{cm}, потомъ отламываютъ оконечность трубки и тѣмъ заставляютъ ртуть подняться въ резервуаръ. Можетъ случиться, что въ этотъ моментъ войдетъ въ приборъ немного воздуха, который, проходя волосное пространство, остающееся между ртутью и стекломъ, какъ-бы всасывается, увлекаемый ртутью вступающею въ трубку. Чтобы этого избѣгнуть, Реньо покрывалъ вытянутую въ трубку оконечность резервуара маленькими кружками изъ латуни, смачиваемыми ртутью и кромѣ-того приливалъ немного концентрированной сѣрной кислоты на поверхность ртути. Отломивъ оконечность трубки и обложивъ резервуаръ тающимъ льдомъ, дожидаются, пока температура газа достигала 0°; тогда снимаютъ прилитый слой сѣрной кислоты и приводятъ нижнюю оконечность винта *o* къ поверхности ртути. Впустивъ послѣднюю въ трубку резервуара, закрывали ея отверстіе воскомъ, наполняющимъ ложечку *c* и для этого двигали эту ложечку вдоль прутика *b* до тѣхъ-поръ, пока остроконечіе трубки не вдавливалось въ воскъ. Въ это время записывали высоту *H* барометра, а потомъ, по снятіи льда, когда уже приборъ получилъ температуру *t* окружающаго воздуха, измѣряли высоту, на которую поднялась ртуть надъ чашечкою; для

чего достаточно, посредствомъ катетометра, снять разстояніе отъ верхняго конца винта до горизонта ртути въ резервуарѣ r и къ этому разстоянію придать длину винта.

Потомъ снявъ резервуаръ r, его взвѣшиваютъ вмѣстѣ со ртутью, которая въ него вошла; послѣ чего всего его наполняютъ прокипяченною ртутью и опять взвѣшиваютъ; затѣмъ его переносятъ въ кипятильный приборъ (фиг. 108) и собираютъ выходящую ртуть, по которой заключаютъ о величинѣ коэффиціента расширенія стеклянной оболочки (148).

Для вычисленія коэффиціента x расширенія воздуха, означимъ чрезъ h высоту, а чрезъ P вѣсъ ртути, поднявшейся въ приборѣ при 0^0, чрезъ P' вѣсъ ртути наполняющій весь приборъ при 0^0, чрезъ H и H' высоты барометра, первая въ тотъ моментъ когда запаяли вытянутую въ трубку оконечность резервуара, а вторая тогда когда залѣпливали воскомъ его отверстіе. Объемъ газа при давленіи H и при температурѣ T^0 кипятильнаго прибора равенъ

$$P' - P)(1 + xT)\frac{H' - h}{H};$$

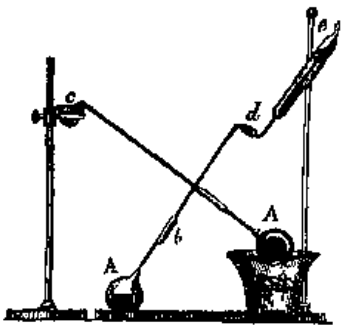
въ то же время это есть полный объемъ расширившагося резервуара и потому

$$(P' - P)(1 + xT)\frac{H' - h}{H} = P'(1 + KT),$$

откуда и опредѣлится величина x.

Изъ четырнадцати опытовъ средняя величина этого коэффиціента оказалась 0 0036623, больше чѣмъ нашелъ ее Рудбергъ; это несогласіе Реньо приписываетъ тому, что при опытахъ Рудберга во время отламыванія конца трубки, въ нее входило немного воздуха.

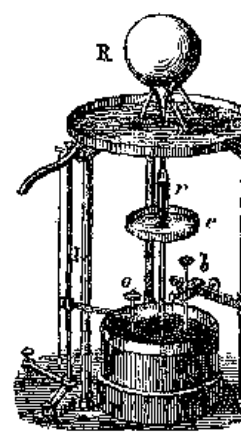
фиг. 100.



179. Послѣ того Реньо измѣнилъ этотъ способъ такимъ-образомъ, что воздухъ при 0^0 и при 100^0 сохранялъ свой объемъ, а дѣйствіе теплоты обнаруживалось при этомъ въ измѣненіи упругости газа. Воздухъ заключенъ въ шаръ A (фиг. 110), имѣющій отъ 350 до 400.

куб. сантиметр. въ объемъ и припаянный къ трубкѣ, около средины которой находится довольно правильное расширеніе *b*, другой же конецъ ея оттянутъ и согнутъ подъ прямымъ угломъ. Для измѣренія объема и расширенія этого прибора, его наполняютъ ртутью посредствомъ довольно широкой трубки *e*, присоединяемой къ нему маленькою каучуковою трубкою *d*. Ртуть, налитая въ *e*, тотчасъ же въ нѣкоторомъ количествѣ вступаетъ въ шаръ; но для окончательнаго его наполненія, нѣсколько разъ вытягиваютъ изъ него воздухъ, или непосредственно, или сообщая оконечность *e* съ насосомъ *P* (фиг. 108), потомъ эту ртуть кипятятъ, помѣщая шаръ въ *A* на вогнутые колосники и погружая оконечность *b* въ чашечку наполненную ртутью. Нагрѣваніе должно производить чрезвычайно осторожно и огонь должно уменьшать лишь-только начнется кипѣніе. По охлажденіи прибора, его обкладываютъ толстымъ слоемъ тающаго льда и когда его температура достигнетъ 0°, на что потребно нѣсколько часовъ, тогда его, посредствомъ маленькаго мѣшочка, подвѣшиваютъ въ кипятильномъ приборѣ (фиг. 108), собираютъ выходящее количество ртути, по которому и заключаютъ о расширеніи стекла. Потомъ выливаютъ ртуть, а вмѣсто нея, посредствомъ прибора (фиг. 108) впускаютъ сухаго воздуха; затѣмъ поступаютъ какъ и въ первомъ способѣ, и употребляютъ тѣ же данныя. Исполнивъ это, помѣщаютъ шаръ на подставку (фиг. 111), отламываютъ оттянутую оконечность его трубки, отчего ртуть поднимается почти до половины расширенія *r*, окружаютъ льдомъ шаръ, равно какъ и это расширеніе, подъ которымъ пробкою укрѣплена маленькая жестяная чашечка *c*. Когда температура прибора понизилась до 0°, тогда, посредствомъ ложечки *b*, залѣпляютъ воскомъ отверстіе въ оттянутомъ концѣ трубки и оканчиваютъ опытъ такъ же какъ и въ предъидущемъ способѣ; потомъ, принявъ только во вниманіе волосность при измѣреніи *h*, вычисляютъ по той же самой формулѣ. Съ шестью разными приборами, этотъ способъ далъ среднюю величину 0,0036633.

Фиг. 111.

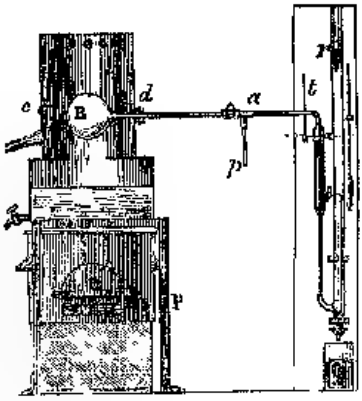


180. Второй способъ. — Его употреблялъ и Рудбергъ; здѣсь объемъ газа остается постояннымъ, такъ что нагрѣваніемъ измѣняется только его упругость. Реньо употреблялъ при этихъ два

разныхъ прибора мы покажемъ, какъ поступалъ онъ съ тѣмъ, который далъ лучшіе результаты.

Съ вышеописанными предосторожностями газъ вводится въ шаръ B (фиг. 112), имѣющій отъ 800 до 1000 куб. сантиметр. въ объемъ и снабженный волосною трубкою da, которая его сообщаетъ, посредствомъ каучуковыхъ соединеній a, съ манометрическою, въ видѣ сифона, трубкою $\alpha\beta\gamma$, имѣющею въ своей нижней части желѣзный кранъ. Шаръ укрѣпленъ въ кипятильномъ приборѣ, поставленномъ на треножникъ P и подъ нимъ находится очагъ. Въ a имѣется мѣдная трубка съ тремя вѣтвями, оканчивающаяся трубкою ap, посредствомъ которой, употребляя приборъ Ptt (фиг 108), наполняютъ шаръ сухимъ газомъ, въ то время какъ въ кипятильномъ приборѣ вода начнетъ кипѣть. Такимъ же способомъ высушивъ манометръ, его наполняютъ сухою ртутью и въ a приставляютъ къ нему вышеупомянутыя трубки. Затѣмъ черезъ кранъ изъ него выпускаютъ ртуть до-тѣхъ-поръ, пока ея горизонтъ въ обоихъ вѣтвяхъ не достигнетъ нѣкоторой постоянной замѣченной точки α. Тогда отнимаютъ осушительный приборъ, запаиваютъ отверстіе въ оконечности p и замѣчаютъ высоту H барометра. Потомъ, отнявъ изъ-подъ прибора очагъ, и тѣмъ заставивъ шаръ охлаждаться, выпускаютъ горячую воду особымъ боковымъ краномъ (фиг. 112) и наконецъ обкладываютъ шаръ тающимъ льдомъ Въ то же время, открывъ кранъ манометра, выпускаютъ изъ него ртуть до-тѣхъ-поръ, пока ея горизонтъ не достигнетъ α въ лѣвомъ колѣнѣ. Когда шаръ охладится до 0°, тогда измѣряютъ разстояніе $\alpha\beta = h$ между горизонтами ртути въ обоихъ колѣнахъ и наблюдаютъ высоту H барометра. Температура пространства $da\alpha$ дана термометромъ t, а отношеніе r между объемомъ этого пространства и объемомъ шара должно быть заранѣе опредѣлено. Узнавъ массу газа помощію плотностей, производятъ потомъ тѣ же вычисленія, какъ и въ n^0 176, но только членъ $r\frac{t-h}{t}$ замѣняютъ ко-

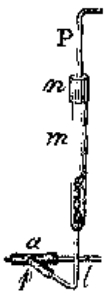
фиг. 112



личествомъ r, потому-что объемъ газа при 0^0 тотъ же самый, что и при T^0 *).

181. Расширеніе газовъ при давленіяхъ измѣняющихся.— Сдѣлавъ разстояніе между краномъ и постоянною замѣченною точкою a равнымъ $0^m,77$, можно предъидущимъ способомъ измѣрять расширеніе газовъ при давленіяхъ, отличающихся отъ атмосфернаго **). Но кромѣ этого, въ случаѣ давленій высшихъ 0_m76, необходимо замѣнить трубку γ манометра гораздо болѣе длинною трубкою, воздушный насосъ осушительнаго прибора (фиг. 108)—нагнетательнымъ насосомъ и, наконецъ, съ этимъ приборомъ соединить шаръ, такъ чтобы можно было запирать трубку p, не приводя внутренности шара въ сообщеніе съ наружнымъ воздухомъ. Для этого волосную трубку p продолжаютъ другою немного болѣе толстою трубкою m (фиг 113), въ которую кладутъ нѣсколько смоляныхъ шариковъ; эта послѣдняя соединяется съ трубками осушительнаго прибора мѣдною оправою n (фиг. 108). Вначалѣ, для осушенія шара, нѣсколько разъ вытягиваютъ изъ него воздухъ, потомъ замѣняютъ всасывающій насосъ нагнетательнымъ и, когда воздухъ достаточно сжатъ, нагрѣваютъ трубку m. Смола растапливается и, проникая въ волосную трубку t, совершенно ее запираетъ, послѣ чего отнимаютъ осушительный аппаратъ. Потомъ приводятъ горизонтъ ртути къ точкѣ a (фиг. 112) и далѣе поступаютъ какъ и въ предъидущемъ способѣ.

фиг 113.



Реньо, дѣйствуя такимъ-образомъ, подвергалъ газъ давленіямъ отъ 110^{mm} до 3655^{mm}, или почти до 5 атмосферъ. Результаты были исправляемы отъ погрѣшности, происходящей отъ того, что шаръ вслѣдствіе внутренняго давленія расширялся. Эта погрѣшность измѣрялась расширеніемъ холоднаго шара, наполненнаго, вмѣстѣ съ нѣкоторою частію своей трубки, водою, которая подвергалась сильному сжатію отъ дѣйствія столба ртути, отдѣленнаго отъ нее небольшимъ количествомъ.

---

*) Коэффиціентъ расширенія шара нельзя было получить прямо, потому-что нельзя кипятить такую большую массу ртути, какая въ немъ была и поэтому Реньо употребилъ коэффиціентъ расширенія меньшаго шара изъ таковаго же стекла.

**) Annales de chimie et de physique, 3 série, t. V.

182. Коэффиціентъ расширенія воздуха. По Реньо, величина этого коэффиціента выражается числомъ 0,003665. Бабинé замѣтилъ, что если принять число 0,003666, то оно можетъ быть замѣнено дробью $\frac{11}{30}$, которая очень удобна при вычисленіяхъ. Магнусъ, около того же времени, получилъ то же самое число *); онъ вначалѣ употреблялъ способъ Гэ-Люссака, потомъ второй способъ Рудберга, основанный на измѣненіи упругости воздуха, нагрѣваемаго до разныхъ температуръ.

Изъ своихъ опытовъ Реньо узналъ, что коэффиціентъ расширенія воздуха замѣтно увеличивается съ увеличеніемъ давленія, какъ это и видно изъ слѣдующей таблицы:

Давленіе при 0°.	Давленіе при 100°.	Расширеніе на 100°.	Давленіе при 0°.	Давленіе при 100°.	Расширеніе на 100°.
mm 109,72	mm 149,31	0,36482	mm 760,00	»	0,36650
174,36	237,17	0,36513	1678,40	2286,09	0,36760
266,06	395,07	0,36542	2144,18	2924,04	0,36894
375,23	510,07	0,36572	3655,56	4992,09	0,37091

183. Расширеніе газовъ, различныхъ отъ воздуха. — Разные способы, описанные нами, были приложены Реньо для измѣренія коэффиціента расширенія десяти различныхъ газовъ. Въ этихъ новыхъ изслѣдованіяхъ ученый физикъ преимущественно употреблялъ методы параграфовъ 179 и 180-го. Высушивъ приборъ, наполняютъ его газомъ, вводя послѣдній боковою наружною трубкою насоса *P* осушительнаго прибора фиг. 108, потомъ, раза четыре или пять, выкачиваютъ и снова впускаютъ газъ и оканчиваютъ опытъ такъ же какъ и для воздуха. Такимъ-образомъ Реньо нашелъ, что коэффиціенты расширенія азота, водорода и окиси углерода, газовъ не обращающихся въ капельное состояніе, равны, при атмосферномъ давленіи, коэффиценту расширенія воздуха или весьма къ нему близки. Углекислота, синеродъ, сѣрнистая кислота и окись азота, при

*) Annales de chimie et de physique, 3 série, t. IV, p. 330.

тѣхъ же обстоятельствахъ, имѣютъ коэффиціентъ нѣсколько большій, который для сернистой кислоты достигаетъ до 0,0038453. Полагаютъ, что эта большая расширяемость происходитъ отъ того, что, при 0° эти газы довольно близки къ точкѣ, при которой они обращаются въ капельное состояніе.

Итакъ видимъ, что законъ тожественности коэффиціентовъ расширенія разныхъ газовъ долженъ ограничиваться только тѣми, которые еще не могли быть обращены въ капельное состояніе *). Опыты производимые надъ углекислотою и надъ сернистою кислотою показали также, что съ увеличеніемъ давленія, расширеніе ихъ дѣлается значительнѣе. Вѣроятно то же самое справедливо и для другихъ газовъ, которые не слѣдуютъ Маріотову закону.

Чтобы сдѣлать очевидною разницу въ коэффиціентахъ расширенія газовъ, Реньо устроилъ родъ дифференціальна термометраго, составленнаго изъ двухъ шаровъ, равныхъ по объему и помѣщенныхъ въ тотъ же кипятильный приборъ, подобный представленному на фиг. 112-й. Волосныя трубки, которыя возвышаются надъ этими шарами, оканчиваются въ B и B' боковыми вѣтвями двойнаго манометра $BhH'B$ (фиг. 114). Наполнивъ одинъ изъ шаровъ, воздухомъ, а другой газомъ, съ которымъ его хотятъ сравнивать, окружаютъ ихъ тающимъ льдомъ, и, приведя ртуть къ той же постоянной замѣченной чертѣ OO', запаиваютъ трубки p (фиг. 112). Доведя оба шара до температуры кипѣнія воды и поднимая поверхность ртути въ трубкѣ для воздуха до совпаденія съ чертою o, найдутъ, что эта жидкость остановится ниже въ β въ другой трубкѣ, если послѣдняя заключаетъ газъ расширяющійся болѣе чѣмъ воздухъ.

Фиг. 114.

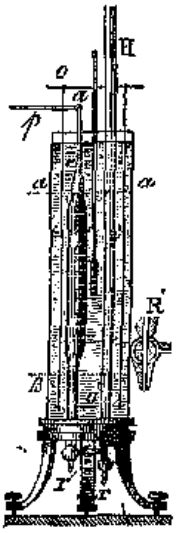
184. Расширеніе газовъ при постоянномъ давленіи. — Во всѣхъ описанныхъ нами опытахъ, расширеніе газовъ вычисляется не прямо: его выводятъ, основываясь на Маріотовомъ законѣ, изъ увеличенія упругости, которую газъ, расширенный теплотою, пріобрѣтаетъ, когда его приводятъ къ прежнему постоянному объему. Но какъ этотъ законъ не точенъ для большаго числа газовъ, то

*) Такъ-какъ кислородъ въ маломъ количествѣ поглощается ртутью, даже въ весьма короткое время, то опыты надъ этимъ газомъ никакихъ согласныхъ результатовъ не доставили.

необходимо было повѣрить предъидущіе результаты способомъ, основаннымъ единственно на измѣненіи объемовъ газа, безъ измѣненія давленія. Это именно и исполнилъ Реньо слѣдующимъ образомъ *):

Газъ заключенъ въ приборъ, представленный на фиг 112, въ которомъ только трубки для ртути замѣнены такъ, какъ это видно на фиг 115-й. Размѣры трубки ar' такія, что горизонтъ ртути достигаетъ черты α, когда шаръ при 0^0 и черты β, когда онъ доведенъ до температуры кипѣнія. Чтобы разница между горизонтами въ обѣихъ вѣтвяхъ была постоянно одинаковая, то для этого, во время нагрѣванія газа, выпускаютъ ртуть изъ крана r. Другой кранъ r', представленный особо въ R', служитъ для того, чтобы выпускать ртуть изъ трубки ar' въ то время, когда ее отдѣляютъ отъ трубки Hr, что дѣлается для измѣренія объемовъ $a\alpha$ и $a\beta$. Прямоугольный ящикъ, котораго двѣ стороны сдѣланы изъ стекла, заключаетъ въ себѣ воду, которую мѣшаютъ помощію мѣшалки oo'. Опытъ производится такъ. когда шаръ обложенъ льдомъ и краномъ r' открыто сообщеніе между двумя вѣтвями, тогда въ трубкѣ ar' приводятъ поверхность ртути къ черть α, запаиваютъ на лампѣ трубку p (фиг. 112) или, если дѣйствуютъ при давленіяхъ высшихъ одной атмосферы, то растапливаютъ смолу въ промежуточной трубкѣ (фиг. 113). Когда шаръ доведенъ до температуры кипящей воды, тогда выпускаютъ ртуть такъ, чтобы горизонтъ ея пришелъ въ β, причемъ давленіе газа почти то же, какъ и при 0^0; могущую быть маленькую разницу съ точностію измѣряютъ.

Фиг. 115.



Чтобы изъ этого опыта вычислить расширеніе газа, означимъ чрезъ v объемъ $a\alpha$, чрезъ v' объемъ $a\beta$ и чрезъ V объемъ шара. Пусть также H и H' представляютъ высоты барометра и h и h' разности высотъ ртути въ обѣихъ вѣтвяхъ, когда ея горизонтъ въ вѣтви ar' достигаетъ сперва α, потомъ β. Наконецъ представимъ чрезъ δ, δ' и δ'' плотности газа при 0^0, T^0 и t^0. Если мы вычислимъ

*) Annales de chimie et de physique, 3 série, t. IV.

массу газа, заключеннаго въ приборъ, принимая послѣдовательно въ соображеніе объемы, которые онъ занимаетъ, когда шаръ при 0° и когда онъ при $T°$ и если мы приравнимъ эти 2 величины, то получимъ:

$$[V(1+kT)\delta'+v'\delta''](H'+h')=(V\delta+v\delta'')(H+h).$$

Но имѣемъ

$$\delta'=\frac{\delta}{1+xT},\ \delta''=\frac{\delta}{1+xt}$$

и потому формула обращается въ

$$\left(V\frac{1+kT}{1+xT}+v'\frac{1}{1+xt}\right)(H+h')=\left(V+v\frac{1}{1+xt}\right)(H+h);$$

отсюда мы и извлечемъ величину $1+xT$. Такъ-какъ здѣсь величина x входитъ во второй членъ, то методу послѣдовательныхъ приближеній предпочитаютъ прямому извлеченію этой величины, которое было бы болѣе сложно.

Вотъ результаты, найденные Реньо какъ этимъ послѣднимъ способомъ, такъ и вышеописанными, т.-е. тѣми, въ которыхъ измѣнялось давленіе.

Имена газовъ.	Расширеніе на 100° при атмосферномъ давленіи.		Расширеніе при сильныхъ давленіяхъ	
	При постоянномъ давленіи	При постоянномъ объемѣ.	Расширеніе на 100°	Давленіе при 0°.
Воздухъ	0,3670	0,3665	0,3694	2524,62
Азотъ	»	0,3668	»	»
Водородъ.....	0,3661	0,3667	0,3662	2545,63
Окись углерода....	0,3669	0,3667	»	»
Углекислота	0,3710	0,3688	0,3845	2522,45
Окись азота.....	0,3719	0,3676	»	»
Сѣрнистая кислота.	0,3903	0,3845	0,3980	982,73
Сѣроводъ.....	0,3877	0,3829	»	»

Эта таблица показываетъ.

1) Коэффиціенты расширенія газовъ, могущихъ быть обращенными въ капельное состояніе, много разнятся одинъ отъ другаго; тѣ же, которые до-сихъ-поръ не обращались въ жидкости, имѣютъ коэффиціенты расширенія почти одинаковые при атмосферномъ давленіи.

2) Коэффиціентъ расширенія при постоянномъ давленіи болѣе того, который выводится по вычисленіе изъ перемѣны упругости газа, измѣняющаго при томъ же объемѣ свою температуру отъ 0° до 100°; разница болѣе замѣтна для газовъ, которые легко обращаются въ капельное состояніе и болѣе сжимаются, чѣмъ слѣдовало бы по Маріотовому закону, что̀ и понятно, потому, что въ употребляемомъ способѣ они болѣе сжаты при 100°, чѣмъ при 0°; отсюда слѣдуетъ, что часть расширительнаго дѣйствія скрыта слишкомъ большимъ сжатіемъ. Водородный газъ не представляетъ этой разницы, потому-что его уклоненіе отъ закона Маріотта совершенно противоположно тому, которое обнаруживается другими газами.

3) Коэффиціентъ расширенія газовъ, *исключая водорода*, съ увеличеніемъ давленія увеличивается и тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе они уклоняются отъ Маріотова закона и при этомъ разницы, существующія между коэффиціентами различныхъ газовъ, тѣмъ замѣтнѣе, чѣмъ значительнѣе давленіе; отсюда можно заключить, что

4) Коэффиціенты расширенія газовъ тѣмъ ближе къ равенству, чѣмъ давленіе ихъ слабѣе и потому законъ, что *всѣ газы имѣютъ одинаковый коэффиціентъ расширенія*, можетъ быть разсматриваемъ какъ *предѣльный законъ*, который въ своемъ приложеніи тѣмъ точнѣе, чѣмъ газы болѣе расширены и чѣмъ они болѣе удалены отъ точки обращенія въ капельное состояніе; для газовъ же, которые не обращаются въ капельное состояніе и которые мало уклоняются отъ Маріотова закона, можно считать справедливымъ равенство расширенія различныхъ газовъ при атмосферномъ давленіи.

Кромѣ-того замѣтимъ, что разницы въ коэффиціентахъ расширенія не обнаруживаются далѣе четвертой десятичной цыфры и не превышаютъ трехъ единицъ этого разряда, такъ-что можно сказать, что коэффиціенты расширенія газовъ равны 0,0036 съ возможною ошибкою не превышающею трехъ-десяти-тысячныхъ.

Часть разности между коэффиціентами расширенія могла происходить отъ слоя газа, сгущеннаго на поверхности стекла, слоя уменьшающагося въ толщинѣ отъ увеличенія теплоты и отъ уменьшенія давленія, т.-е. отъ обстоятельствъ, которыя, какъ мы видѣли,

дѣлаютъ эту разность менѣе замѣтною. Дѣйствіе этого сгущеннаго слоя было очевиднымъ образомъ обнаружено Пульé на платинѣ, Пеклé даже думаетъ, что вся разность между коэффиціентами могла бы быть объяснена только этимъ явленіемъ и онъ указываетъ слѣдующій способъ для разрѣшенія этого вопроса: нужно измѣрить расширеніе газа въ шарѣ, наполнéнномъ кусками стекла, назначенными для увеличенія поверхности, на которой газъ сгущается и потомъ посмотрѣть, будутъ ли коэффиценты, опредѣленные съ такимъ шаромъ, одинаковы съ тѣми, которые найдены съ обыкновенными приборами Если это такъ выйдетъ, то сгущенный слой будетъ безъ вліянія на замѣченные результаты; если же разность окажется, то коэффиціенты, найденные съ шаромъ наполненнымъ кусками стекла, выйдутъ больше.

II. Сравненіе термометровъ.—Воздушный пирометръ.

185. Мы видѣли, что термометры, основанные на расширеніи различныхъ жидкостей (24) и различныхъ твердыхъ тѣлъ (150), будучи подвержены той же температурѣ, не даютъ одинаковаго числа градусовъ; до 100° между термометрами: воздушнымъ, ртутнымъ и металлическими существуетъ совершенно достаточное согласіе, но далѣе они расходятся и притомъ все болѣе-и-болѣе. Какое же вещество должно предпочесть другимъ, для того чтобъ имѣть наиболѣе точныя показанія, т.-е. температуры наиболѣе пропорціональныя количествамъ теплоты, вводимымъ въ термометръ? Вотъ вопросъ которымъ мы теперь и займемся.

Въ твердыхъ тѣлахъ и въ капельныхъ жидкостяхъ, равновѣсіе частицъ обусловливается двумя силами — сцѣпленіемъ и отталкивательною силою, которую теплота увеличиваетъ для расширенія тѣла. Такъ-какъ сцѣпленіе измѣняется вмѣстѣ съ разстояніемъ и природою частицъ, то понятно, что, отъ одинаковаго приращенія теплоты, перемѣны въ этихъ разстояніяхъ не могутъ быть одинаковы въ различныхъ тѣлахъ, ни даже въ томъ же тѣлѣ, если температура, съ которой начинаютъ наблюдать его расширеніе, т.-е. если разстояніе между его частицами, будетъ другое. Въ газахъ не обращающихся въ капельное состояніе и повинующихся съ достаточною точностію Маріотову закону, взаимное сцѣпленіе частицъ чрезвычайно слабое, что подтверждается равенствомъ коэффиціентовъ рас-

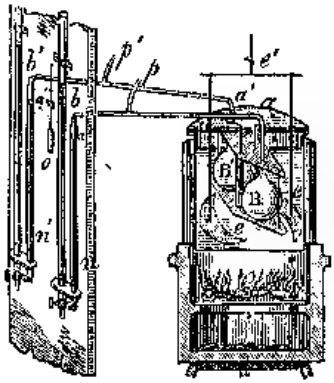
пирения, показывающимъ, что здѣсь свойство и масса частицъ имѣютъ весьма малое вліяніе И потому заключаютъ, что эти газы представляютъ обстоятельства наиболѣе удобныя для измѣренія температуры. Опыты Дюлонга и Пти показали равенство коэффиціентовъ расширенія воздуха и водорода до температуры 300° и потому всѣ вообще физики полагали, что показанія воздушнаго термометра пропорціональны приращеніямъ теплоты Къ большему утвержденію этого мнѣнія служило еще то, что результаты замѣчательныхъ изслѣдованій Дюлонга и Пти надъ законами охлажденія (67) получали весьма простыя выраженія только тогда когда температуры задавались по термометру, основанному на расширеніи воздуха, которое принималось за постоянное Кромѣ того, по убѣжденію Деви, коэффиціентъ расширенія воздуха остается тѣмъ же при давленіяхъ весьма различныхъ, начиная отъ $\frac{1}{6}$ атмосферы до 2-хъ атмосферъ; но опыты Реньо (183) показали, что газы расширяются тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе они сжаты, что доказываетъ, вмѣстѣ съ неточностію Маріотова закона замѣтное вліяніе сцѣпленія, но только это вліяніе весьма слабо для газовъ, не обращающихся въ капельное состояніе Водородный газъ представляетъ исключенія (183); какое бы ни было его давленіе, онъ всегда расширяется одинаково, и потому весьма вѣроятно, что его расширеніе на 1° остается постояннымъ при всѣхъ температурахъ, такъ-что онъ могъ бы доставить термометръ съ показаніями соизмѣримыми одно другому, даже при самыхъ высшихъ температурахъ, т-е. онъ составилъ бы соизмѣримый пирометръ. Но для употребленія воздухъ гораздо удобнѣе водорода; и потому еслибъ два подобныхъ между собою термометра, одинъ наполненный воздухомъ, другой водородомъ, были, независимо одинъ отъ другаго, раздѣлены отъ 0° до 100 и еслибъ показанія ихъ согласовались при самыхъ высокихъ температурахъ, то можно было бы заключить, что воздушный пирометръ представляетъ тѣ же выгоды какъ и водородный, по-крайней-мѣрѣ въ предѣлахъ, въ которыхъ сравненіе производилось

186. Сравненіе термометровъ составленныхъ изъ разныхъ газовъ. — Реньо поступалъ слѣдующимъ образомъ *): газы были заключены порознь въ два шара *BB'* (фиг. 116), погру-

*) Mémoires de l'Académie des sciences de l'Institut, tome XXXV.

женные въ ту же вышу, наполненную масломъ и снабженную мѣшалкою $e'ee$. Шары эти соединялись манометрами $n\alpha$, $n'\alpha'$, помощію волосныхъ трубокъ ab, $a'b'$. Слѣдуя уже описанному способу (117), осушаютъ и наполняютъ шары, помощію трубокъ p, p'. Два термометра, основанные на взвѣшиваніи, помѣщены вблизи шаровъ. Обложивъ послѣдніе тающимъ льдомъ и закрывъ трубки p, p', наливаютъ ртуть въ манометры такъ, чтобы ея горизонты достигали до постоянныхъ замѣтныхъ черточекъ α, α' и тогда записываютъ высоту барометра, равно какъ и разность горизонтовъ въ двухъ вѣтвяхъ каждаго манометра. Доведя потомъ шары до возвышенной температуры, вливаютъ ртуть, такъ, чтобы опять привести ея поверхности къ черточкамъ α, α', замѣчаютъ высоту барометра и одновременно наблюдаютъ четыре высоты ртути въ трубкахъ манометровъ, помощію четырехъ катетометровъ, помѣщенныхъ впереди на твердыхъ подставкахъ. Пусть V представляетъ объемъ шара B при $0°$, v и v' объемы $b\alpha$ и $b'\alpha'$ вмѣстѣ съ подставкою или прибавкою p; t—температура данная термометромъ θ и t' температура показываемая термометромъ, помѣщеннымъ между p и p'; H, H' давленія претерпѣваемыя газомъ при $0°$ и при температурѣ τ газоваго термометра; δ плотность газа при $0°$ и при давленіи 760^{mm} и, наконецъ, α—считаемый постояннымъ при всѣхъ температурахъ—коэффиціентъ расширенія газа. Величина τ получится изъ слѣдующаго уравненія, обѣ части котораго представляютъ массу газа, послѣдовательно выведенную изъ его давленія при $0°$ и изъ давленія при температурѣ τ:

Фиг. 116.



$$\left(V+\frac{v}{1+\alpha t}+\frac{v'}{1+\alpha t'}\right)\delta\,\frac{H}{760}=\left(V\frac{1+K\tau}{1+\alpha\tau}+\frac{v}{1+\alpha t}+\frac{v'}{1+\alpha t'}\right)\delta\,\frac{H'}{760}.$$

Для другаго шара получится подобное же уравненіе, и тогда изъ обоихъ уравненій выводятъ величины τ, которыя и сравниваютъ.

Такимъ-образомъ Реньо нашелъ, что термометры основанные на расширеніи воздуха и водороднаго газа, въ своихъ показаніяхъ согласуются отъ $0°$ до $325°$, т.-е. до наибольшей температуры, упо-

требленной при опытахъ. Когда первый термометръ въ капельно-жидкой окиси азота показывалъ — 87°,67, тогда на второмъ было —87°,47. Термометръ, наполненный углекислотою, доставляетъ почти тотъ же результатъ, но наполненный сѣрнистою кислотою, начиная отъ 100°, постоянно позади воздушнаго, и потому заключаемъ, что съ увеличеніемъ температуры, наблюдаемой на воздушномъ термометрѣ, коэффиціентъ расширенія сѣрнистой кислоты уменьшается.

Сравнительные опыты, произведенные надъ воздухомъ въ разной степени сгущеннымъ, доказали, что два термометра наполненные этимъ газомъ и подверженные различнымъ начальнымъ давленіямъ, оставались постоянно согласными между собою. Сравненіе дѣлалось до температуры 350°, причемъ въ одномъ шарѣ давленіе перемѣнялось отъ 438^{mm} до 1486^{mm}, а въ другомъ оставалось постоянно около 760^{mm}.

Воздушный пирометръ.—Приборъ *Babn* (фиг. 116, представляетъ собою воздушный пирометръ, болѣе удобный въ употребленіи чѣмъ подобный пирометръ Дюлонга и Пти (176) Схожій съ этимъ приборомъ, Реньо употреблялъ въ своихъ опытахъ надъ абсолютнымъ расширеніемъ ртути (172), но только резервуаръ, вмѣсто шара, былъ сдѣланъ изъ толстой стеклянной трубки. При сильныхъ давленіяхъ и въ случаѣ очень высокихъ температуръ, можно опасаться, что приборъ увеличится въ своемъ объемѣ. Для избѣжанія этого неудобства, его наполняютъ при 0° расширеннымъ воздухомъ, что, какъ мы видѣли, не можетъ измѣнить хода его показаній. Когда теплота такъ велика, что размягчаетъ стекло, тогда резервуаръ дѣлаютъ изъ платины.

Есть два способа измѣрять температуры посредствомъ расширенія воздуха; одинъ изъ нихъ состоитъ, какъ мы изъяснили, въ наблюденіи перемѣнъ въ давленіи, производимомъ на тотъ же объемъ газа при разныхъ температурахъ; а другой—въ наблюденіи перемѣнъ его объема при постоянномъ давленіи, какъ поступлено при вышеописанныхъ опытахъ (184). Этотъ послѣдній способъ придуманъ Пулье въ 1827 году для устройства своего воздушнаго пирометра и для опредѣленія коэффиціента расширенія воздуха Реньо предпочитаетъ первый способъ, потому-что при высокихъ температурахъ въ резервуарѣ остается весьма малая масса воздуха, такъ что новое возвышеніе температуры заставляетъ его выходить въ чрезвычайно маломъ количествѣ, а тогда чувствительность прибора уменьшается по мѣрѣ увеличенія температуры.

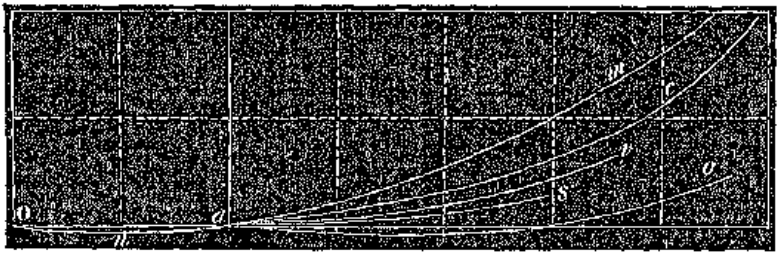
187. Сравненіе термометровъ воздушнаго и ртутнаго. — Таблицы данныя Дюлонгомъ и Пти, для перевода показаній ртутнаго термометра на показанія воздушнаго, не точны потому, что при ихъ вычисленіи употреблена слишкомъ большая величина коэффиціента расширенія воздуха. Реньо составилъ новыя таблицы и для этого онъ употреблялъ приборъ подобный представленному на фиг. 115-й, но только съ однимъ шаромъ и съ ртутными термометрами. Онъ также дѣлалъ опыты въ парахъ терпентинной эссенціи и кипящей ртути. Эти жидкости наливались въ котлы закрытые сверху, въ которыхъ находились резервуаръ воздуха и термометры, основанные на взвѣшиваніи; пары шли по трубѣ въ холодильникъ, гдѣ они и осаждались. Производя эти опыты, Реньо убѣдился, что свойство стекла ртутнаго термометра имѣетъ вліяніе на показанія послѣдняго 18., онъ въ-особенности испытывалъ четыре рода стеколъ. Мы заключаемъ въ нижеслѣдующую таблицу результаты, полученные съ тѣми сортами стекла, которые преимущественно употребляются во Франціи. Эта таблица начинается только съ 100°; до этой температуры, всѣ ртутные термометры были чувствительно согласны съ воздушнымъ.

Температуры воздушнаго термометра.	Температуры ртутнаго термометра.		Температуры воздушнаго термометра.	Температуры ртутнаго термометра.	
	Хрусталь Choisy-le-Roi.	Обыкновенное стекло.		Хрусталь Choisy-le-Roi.	Обыкновенное стекло.
100°	100°	100°	240°	242°,55	239°,90
120	110,05	100,08	260	263,44	260,20
140	140,29	139,85	280	284,48	280,52
160	160,52	159,74	300	305,72	301,08
180	180,80	179,63	320	327,25	321,80
200	201,25	199,70	340	349,30	343,00
220	221,85	219,80	350	360,50	354,00

Эта таблица показываетъ, что свойство стекла имѣетъ чувствительное вліяніе на показанія ртутнаго термометра и что для устройства послѣдняго, должно предпочитать обыкновенное стекло. Помѣщенныя здѣсь числа могутъ и не согласоваться съ показаніями термометра, составленнаго изъ стекла, различнаго отъ приведенныхъ

стеколъ и потому высокія температуры должно по возможности наблюдать прямо на воздушномъ термометрѣ, на показанія котораго расширеніе стекла оказываетъ незамѣтное вліяніе, потому-что газы расширяются въ 160 разъ болѣе, чѣмъ стекло, между-тѣмъ какъ ртуть только въ семь разъ болѣе Чтобы нагляднѣе представить сравненіе термометровъ, мы, слѣдуя Реньё, присоединяемъ здѣсь графическое построеніе, въ которомъ абсциссы собою представляютъ абсолютныя температуры воздушнаго термометра, а ординаты суть разности между показаніями его и показаніями разныхъ ртутныхъ термометровъ (фиг. 117). Кривая *Onam* соотвѣтствуетъ температу-

фиг. 117.



рамъ, выведеннымъ изъ абсолютнаго расширенія ртути, а кривыя *ac*, *av*, *as*, *ao*, принадлежатъ ртутнымъ термометрамъ, составленнымъ порознь изъ хрусталя Шуази, зеленаго стекла, шведскаго стекла и обыкновеннаго стекла.

Магнусъ также сравнивалъ показанія ртутнаго и воздушнаго термометровъ Его результаты различаются отъ полученныхъ Реньё, чему отчасти причиною разность стеколъ, изъ которыхъ приборы ихъ были сдѣланы.

188. Результаты полученные съ воздушнымъ пирометромъ. — Пулье, производя многочисленные опыты съ своимъ пирометромъ, выразилъ градусами весьма высокія температуры, соотвѣтствующія разнымъ цвѣтамъ, пріобрѣтаемымъ твердыми тѣлами, когда ихъ доводятъ до болѣе или менѣе раскаленнаго состоянія. Вотъ эти результаты:

Цвѣта платины.	Температуры.	Цвѣта платины.	Температуры.
Рождающійся красный.	525°	Густой оранжевый . . .	1100
Темно-красный . . .	700	Свѣтло-оранжевый . . .	1200
Рождающійся вишневый	800	Бѣлый	1300
Вишневый	900	Бѣлый паяльный	1400
Свѣтло-вишневый	1000	Бѣлый ослѣпляющій . .	1500

Пулье полагаетъ, что, при нѣкоторомъ навыкѣ, въ этого рода измѣреніяхъ трудно ошибиться болѣе чѣмъ на 50°. Въ этихъ опытахъ шаръ термометра состоялъ изъ платины и былъ заключенъ въ желѣзномъ муфлѣ, помѣщенномъ посрединѣ кирпичнаго горна, температура котораго измѣнялась регулированіемъ горѣнія посредствомъ приличнорасположенныхъ регистровъ.

Пулье замѣтилъ, что платина на своей поверхности сгущаетъ воздухъ, который отъ нея освобождается при температурѣ 100° и потому, начиная только съ этой температуры, массу этого газа можно считать постоянною. Для избѣжанія же происходящей отъ того ошибки, должно наблюдать объемъ газа при 100° и уже изъ него выводить тотъ, который былъ бы при 0°, еслибы платина не сгущала его на своей поверхности.

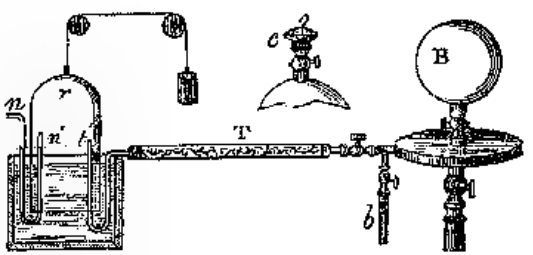
III. Измѣреніе плотности газовъ.

160. Плотность газовъ измѣняется въ весьма значительныхъ пропорціяхъ, при перемѣнѣ ихъ температуры и давленія ими претерпѣваемыхъ. Притомъ, въ отношеніи къ водѣ, эта плотность очень мала, и потому, въ этомъ отношеніи, газы всегда сравниваются не съ водою, а съ воздухомъ. Удѣльный же ихъ вѣсъ относительно воды легко получить, если извѣстенъ удѣльный вѣсъ воздуха, относительно этой капельной жидкости. Если газы не обращаются въ капельное состояніе и, повинуясь закону Маріотта, расширяются одинаково, въ-особенности при обыкновенныхъ измѣненіяхъ температуры и давленія атмосферы, то плотность ихъ относительно воздуха можетъ быть выражена *отношеніемъ между вѣсами равныхъ объемовъ воздуха и этого газа при томъ же давленіи и той же температурѣ*, какія бы впрочемъ это давленіе и эта температура ни были. То же относится и къ газамъ, обращающимся въ капельное состояніе, если только ихъ сравниваютъ съ воздухомъ при температурѣ достаточно удаленной отъ этого состоянія и при слабыхъ давленіяхъ.

Способъ производства опыта.— Чтобы измѣрить плотность газа, должно вообще поступить слѣдующимъ образомъ: взвѣсить стеклянный шаръ, снабженный краномъ, сперва пустой, потомъ наполненный испытуемымъ газомъ и затѣмъ наполненный воздухомъ; изъ результатовъ двухъ послѣднихъ взвѣшиваній вычесть

порознь то, что доставило первое взвѣшиваніе, отъ чего получатся вѣсы равныхъ объемовъ газа и воздуха,—и, наконецъ, вѣсъ газа раздѣлить на вѣсъ воздуха. Этотъ способъ, очень простой по началу, представляетъ множество затрудненій въ практикѣ: надобно дѣлать поправки для приведенія вѣсовъ газовъ къ той же температурѣ и къ тому же давленію, а измѣреніе этихъ двухъ количествъ требуетъ весьма многихъ предосторожностей. Но вотъ какъ обыкновенно поступаютъ: навинчиваютъ шаръ *B* (фиг. 118) на доску воздушнаго насоса;

фиг. 118



нѣсколько разъ выкачиваютъ воздухъ и снова его впускаютъ чрезъ боковой кранъ, такъ чтобы онъ предварительно проходилъ по трубкѣ *T*, наполненной кусками хлористаго кальція; такимъ-образомъ шаръ осушенъ. Тогда въ послѣдній разъ выкачиваютъ воздухъ и, замѣтивъ высоту *h* ртути въ трубкѣ воздушнаго насоса, запираютъ кранъ шара и опредѣляютъ вѣсъ послѣдняго. Для этого его подвѣшиваютъ непосредственно къ коромыслу вѣсовъ, привинтивъ къ нему предварительно крючокъ съ чашечкою *c*, въ которую, для облегченія опыта, можно класть грузы. Опредѣливъ вѣсъ пустаго шара, ставятъ его опять на доску воздушнаго насоса и при атмосферномъ давленіи *H*, наблюдаемомъ на барометрѣ, впускаютъ въ него сухой воздухъ и потомъ опять взвѣшиваютъ. Пусть p послѣдній полученный вѣсъ и π вѣсъ пустаго шара, $p-\pi$ выразитъ вѣсъ введеннаго воздуха, при температурѣ t, при которой производился опытъ и при давленіи H, уменьшенномъ давленіемъ h, которое оставалось въ шарѣ, послѣ выкачиванія изъ него воздуха.

Затѣмъ наполняютъ шаръ газомъ, плотность котораго желаютъ измѣрить. Для этого впустимъ газъ въ шаръ изъ газометра *r*, въ которомъ онъ заранѣе собранъ, нѣсколько разъ его выкачиваютъ и потомъ снова впускаютъ въ шаръ, причемъ онъ проходитъ по трубкамъ *t* и *T*, и въ послѣдней осушается. При этомъ малое количество воздуха, остававшееся въ шарѣ, изъ него извлекается. Послѣдній разъ сдѣлавъ пустоту въ шарѣ, наблюдаютъ высоту h' ртути въ трубкѣ насоса и измѣряютъ вѣсъ π' шара. Наконецъ его наполняютъ сухимъ газомъ, при атмосферномъ давленіи H'. Согнутая трубка nn',

открытая съ обоихъ концовъ и заключающая столбикъ ртути или воды, служитъ для удостовѣренія, что давленіе внутри газометра равно атмосферному. Пусть p' — вѣсъ шара наполненнаго газомъ и t' — его температура при этомъ взвѣшиваніи. Означивъ чрезъ V объемъ шара при 0°, вѣсъ одного газа $p'-\pi'$, приведенный къ давленію 760^{мм} и къ температурѣ 0°, будетъ

$$(p'-\pi')\frac{760}{H'-h'}\cdot\frac{267+t'}{267}\cdot\frac{1}{(1+Kt')},$$

гдѣ K есть коэффиціентъ расширенія стекла, а дробь $\frac{1}{267}$ такой же коэффиціентъ для газа. Точно также вычисляютъ вѣсъ воздуха при 0° и при давленіи 760 миллиметр; раздѣливъ эти два результата одинъ на другой находятъ выраженіе D плотности газа въ отношеніи къ воздуху

$$D=\frac{p'-\pi'}{p-\pi}\cdot\frac{H-h}{H'-h'}\cdot\frac{267+t'}{267+t}\cdot\frac{1+Kt}{1+Kt'}.$$

Откуда видимъ, что нѣтъ необходимости знать объемъ шара.

190. Случай, когда газъ дѣйствуютъ на металлъ. Нѣкоторые газы, напримѣръ хлоръ, дѣйствуютъ на мѣдь, а потому и на краны изъ нея сдѣланные. Чтобы получить плотность подобнаго газа, употребляютъ стклянку, съ приплифованною наждакомъ пробкою, заранѣе опредѣляютъ ея объемъ, для чего необходимо знать плотность воздуха относительно воды; мы увидимъ далѣе, какъ получить эту величину. Сухой газъ впускаютъ въ стклянку чрезъ трубку идущую до ея дна; при этомъ, если испытуемый газъ легче воздуха, то стклянку опрокидываютъ; газъ выталкиваетъ воздухъ изъ стклянки и чтобъ въ ней не осталось нисколько ни воздуху, ни влажности, нѣкоторое количество этого газа должно потеряться. По наполненіи стклянки, пока газъ продолжаетъ еще выдѣляться, потихоньку и осторожно вынимаютъ трубку и закрываютъ стклянку стеклянною пробкою, которая должна быть всегда вдвинута на одинаковое количество. Пусть p' вѣсъ такимъ-образомъ наполненной стклянки. Потомъ измѣряютъ вѣсъ p стклянки, точно также наполненной сухимъ воздухомъ; въ величинѣ $p'-p$ не будетъ очевидно заключаться вѣсъ стекла; такъ-какъ $p'-p$ представляетъ разность между вѣсами равныхъ объемовъ газа и воздуха, то прибавивъ къ ней вѣсъ воздуха наполняющаго стклянку, получимъ вѣсъ газа. Пусть V объемъ стклянки при 0°, t

температура и H высота барометра во время опыта, α плотность воздуха при 0° и при давленіи 760 миллиметр., относительно воды взятой при температурѣ 4°; вѣсъ a воздуха заключеннаго въ стклянкѣ будетъ

$$a = V.\alpha \frac{H}{760} \frac{267}{267+t};$$

а потому плотность газа относительно воздуха будетъ $\frac{p'-p+a}{a}$.

191. Удѣльный вѣсъ воздуха.— Чтобы опредѣлить плотности газовъ относительно воды при температурѣ 4°, достаточно узнать, относительно той же жидкости, плотность воздуха при 0° и при давленіи 760^{mm} Для этого по предъидущему находятъ вѣсъ A сухаго воздуха, наполняющаго шаръ съ крапомъ при давленіи 760^{mm} и при температурѣ 0° изъ уравненія

$$A = (p - \pi) \frac{760}{H-h} \cdot \frac{267+t}{267} \cdot \frac{1}{1+Kt}$$

Потомъ наполняютъ этотъ шаръ дистиллированной водой и взвѣшиваютъ. Пусть P этотъ послѣдній вѣсъ, t' - температура и π—вѣсъ пустаго шара. Означивъ чрезъ δ расширеніе воды отъ 4° до t'°, и чрезъ E вѣсъ воды при 4°, наполняющей шаръ, объемъ котораго взятъ при 0°, получимъ $E = (P - \pi) \frac{1+\delta}{1+Kt'}$, и тогда $\frac{A}{E}$ и будетъ удѣльный вѣсъ воздуха относительно воды. Біо и Араго нашли этимъ способомъ число 0,00013.

Отсюда заключаемъ, что вѣсъ одного литра воздуха, при 0° и при давленіи 760^{mm}, составляетъ 13 десятитысячныхъ частей вѣса одного литра воды при 4°, т.-е. равенъ 1$^{gr.}$,3

Когда плотность какого-нибудь газа относительно воздуха извѣстна, тогда ее помножаютъ на 0,0013 и получаютъ удѣльный вѣсъ этого газа относительно воды при температурѣ газа=0° и при его давленіи=760^{mm}; отсюда уже легко переходятъ къ вѣсу одного литра этого газа.

192. Употребленіе плотностей газовъ. Относительныя плотности газовъ употребляются преимущественно въ химіи. Гэ-Люссакъ открылъ, что *когда два газа химически соединяются, тогда ихъ объемы находятся въ простыхъ взаимныхъ отношеніяхъ*, т.-е. такъ, что два члена каждаго подобнаго отношенія суть числа цѣлыя и

очень малыя. Напримѣръ 1 объемъ кислорода соединяется съ 2 объемами водорода и составляетъ воду; 1 объемъ хлора долженъ соединиться съ 1 объемомъ водорода, чтобы образовать хлористоводородную кислоту Кромѣ того, образовавшееся сложное тѣло, разсматриваемое въ парообразномъ или вообще въ газообразномъ состояніи, при той же температурѣ и томъ же давленіи, занимаетъ объемъ, величина котораго также въ весьма простомъ отношеніи къ обоимъ соединяющимся объемамъ; такъ 1 объемъ кислорода и 2 водорода даютъ два объема водяныхъ паровъ 1 объемъ хлора и 1 объемъ водорода производятъ 2 объема хлористоводородной кислоты. Отсюда слѣдуетъ, что если означимъ чрезъ v и v' объемы химически соединяющихся газовъ, чрезъ V объемъ образовавшагося газа и чрезъ d, d' и D плотности трехъ разсматриваемыхъ газовъ, то, такъ-какъ вѣсы тѣлъ, во время соединенія, не измѣняются, получимъ: $vd + v'd' = VD$, выраженіе, изъ котораго можемъ вывести одну изъ трехъ величинъ d, d', D если будемъ знать остальныя и простыя отношенія между v, v', V Это уравненіе служитъ также для опредѣленія отношенія V v, если извѣстны плотности газовъ и отношеніе v' къ v; для обоихъ членовъ этой пропорціи всегда найдутся простыя числа. Это послѣднее вычисленіе важно въ томъ случаѣ, когда, при обыкновенной температурѣ, образовавшееся сложное тѣло не есть газъ; тогда берутъ достаточно возвышенную температуру, чтобъ оно при ней было въ видѣ паровъ и уже для этой температуры вычисляютъ объемы v, v' и плотности d и d', равно какъ и плотность D, послѣднюю, по способу который мы еще представимъ послѣ, при этихъ данныхъ и опредѣляютъ искомый объемъ V

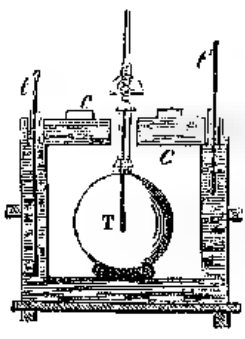
Другое важное употребленіе плотности газовъ встрѣчается при вычисленіи *вѣсовъ атомовъ* простыхъ тѣлъ; такъ называютъ отношеніе между вѣсомъ атома простаго тѣла и вѣсомъ атома кислорода, выраженнаго числомъ 100, и принятаго для сравненія со всѣми тѣлами При вычисленіи вѣсовъ атомовъ, употребляютъ гипотезу, основанную на большомъ числѣ теоретическихъ соображеній и на нѣкоторыхъ физическихъ данныхъ, которыя мы представимъ послѣ при изученіи удѣльной теплоты. Вотъ эта гипотеза *при томъ же давленіи и при той же температурѣ всѣ простые газы заключаютъ то же число атомовъ.* Откуда слѣдуетъ, что вѣсы атомовъ простыхъ газовъ относятся между собою какъ плотности этихъ газовъ; такъ, что вѣсъ атома газа, отнесенный къ вѣсу 100 атома кислорода, найдется изъ простой пропорціи. Напримѣръ плотность кислорода

относительно воздуха, равна 1,1056, а водорода=0,0692, и потому будетъ 1,1056 : 0,0692=100 . x, откуда x=вѣсъ атома водорода=6,25. Когда простое тѣло не есть газъ, тогда сравниваютъ плотность его паровъ съ плотностію кислорода при той же температурѣ, предполагая, что коэффиціентъ расширенія этого газа остается постояннымъ до этой температуры

Изъ предъидущаго заключаемъ, что числа атомовъ газовъ соединяющихся для образованія одного сложнаго атома, относятся между собою какъ объемы этихъ газовъ; такимъ-образомъ атомъ воды составленъ изъ 1 атома кислорода и 2 атомовъ водорода и вѣсъ этого сложнаго атома равенъ суммѣ вѣсовъ составляющихъ атомовъ, т.-е. равенъ 100 + 2 . 6,26 = 112,50 Это употребленіе плотностей газовъ объясняетъ, почему сдѣлано столько усилій для усовершенствованія способовъ служащихъ для ихъ измѣренія.

193. Опыты Дюма и Буссенго Boussingault) — Въ замѣчательномъ Мемуарѣ о составѣ воздуха *), Дюма и Буссенго представили измѣренія плотностей кислорода и азота, значительно усовершенствовавъ обыкновенно для этого употребленный способъ Вмѣсто того чтобы предварительно собирать газъ въ газометрѣ, гдѣ онъ смѣшивается съ газами, растворенными въ водѣ, его по мѣрѣ образованія впускаютъ въ шаръ, проводя по трубкамъ, имѣющимъ форму франц. буквы U и назначеннымъ одинъ для его очищенія, другія для осушенія. Нѣсколько разъ впускали и нѣсколько разъ выкачивали газъ изъ шара; наконецъ этотъ газъ, наполнивъ шаръ, пріобреталъ въ точности давленіе атмосферы, показываемое барометромъ

фиг. 119



Шаръ былъ заключенъ въ искусственный погребъ, состоящій изъ большаго цинковаго цилиндрическаго сосуда, съ двойными стѣнками, пространство между которыми наполнено водою (фиг. 119) и закрыто пустою крышкою cc, также наполненною водою. Такимъ-образомъ шаръ окруженъ водянымъ слоемъ въ 20 сантиметр. толщины, температура котораго узнавалась термометрами t, t' Температура же газа въ шарѣ съ точностію показывалась термометромъ

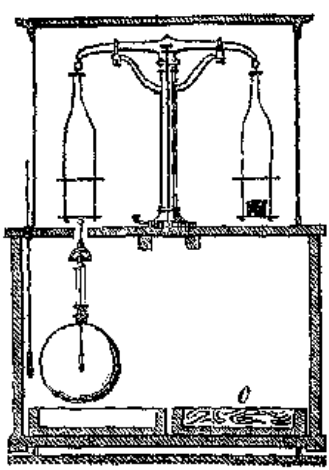
*) Annales de chimie et de physique, 3 série, t. III.

T, который въ него былъ опущенъ и въ которомъ горизонтъ ртути былъ наблюдаемъ въ вертикальной трубкѣ продолжающею горлышко шара, что гораздо точнѣе, чѣмъ брать температуру окружающаго воздуха.

Чтобы опредѣлить вѣсъ шара, его подвѣшиваютъ въ ящикѣ, обитомъ свинцомъ (фиг. 120) и снабженномъ, для осушенія воздуха, слоемъ негашеной извести *c*. Когда дверцы шкафа заперты, тогда шаръ устраняется отъ дѣйствія всякой наружной теплоты, и именно отъ нагрѣванія, которое происходитъ во время приближенія къ прибору самаго наблюдателя. Для показанія температуры ящика также имѣется термометръ. Прежде чѣмъ взвѣшивать шаръ, ожидаютъ когда онъ пріобрѣтетъ эту температуру, затѣмъ его на-сухо обтираютъ. Дюма и Буссенго измѣрили такимъ-образомъ плотности газовъ: кислорода, азота и водорода.

194. Опыты Реньо. — Въ усовершенствованномъ способѣ, о которомъ мы сейчасъ говорили, существуютъ еще нѣкоторыя неточности, происходящія отъ тонкаго слоя воды, въ разной пропорціи прилипающаго къ поверхности стекла и отъ потери вѣса шара въ воздухѣ, потери, перемѣняющейся съ давленіемъ и температурою атмосферы. Реньо весьма просто освобождается отъ этихъ неточностей: онъ уравновѣшиваетъ шаръ, наполненный газомъ, другимъ шаромъ, той же величины и изъ таковаго же стекла. Потери этихъ шаровъ одинаковы и Реньо видѣлъ, что равновѣсіе ихъ сохранялось втеченіи двухъ недѣль, несмотря на перемѣны въ температурѣ, давленіи и влажности воздуха.

фиг. 120

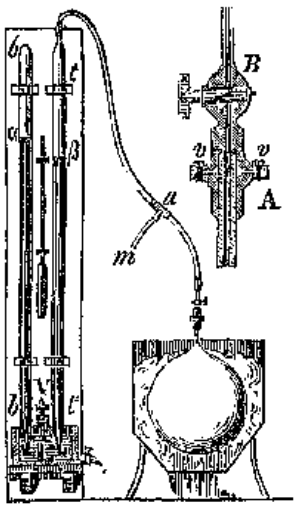


Для избѣжанія поправокъ употребляемыхъ, вслѣдствіе расширеній отъ теплоты, окружаютъ шаръ, наполненный газомъ, тающимъ льдомъ (фиг. 121). Затѣмъ, выкачавъ изъ него воздухъ, наполняютъ его газомъ при давленіи атмосферы; потомъ его обмываютъ, обтираютъ, привѣшиваютъ къ вѣсамъ въ шкафѣ подобномъ представлен-

ному на фиг. 120-й и передъ тѣмъ какъ взвѣшивать ожидаютъ, когда онъ пріобрѣтетъ температуру этого шкафа *).

Барометрическій манометръ. — Чтобы измѣрить давленіе въ шарѣ, по достиженіи въ немъ возможной пустоты, Реньо употреблялъ весьма простой приборъ, который онъ называетъ *барометрическимъ манометромъ* и который можно приложить вообще къ измѣренію давленій мѣньшихъ давленія одной атмосферы. Приборъ этотъ представленъ на фиг. 121-й bb представляетъ трубку барометра, погруженную въ чугунную чашечку съ двумя отдѣленіями; во второе отдѣленіе погружается трубка tt', сообщающаяся своею верхнею частію съ шаромъ, помощію свинцовой трубки ta, идущей отъ трехъколѣнной коротенькой трубки a. Трубка m идетъ къ воздушному насосу. Помощію катетометра измѣряютъ разность горизонтовъ, т.-е длину $\alpha\beta = h$, потомъ находятъ высоту H барометра, измѣряя разстояніе αV горизонта въ барометрѣ трубки до вершины винта v, котораго нижняя оконечность прикасается къ поверхности ртути въ чашечкѣ и котораго длина заранѣе извѣстна. Тогда $(P-\pi)\frac{760}{H-h}$ представитъ вѣсъ газа при 0° и при нормальномъ давленіи въ 760мм; здѣсь P есть вѣсъ шара, наполненнаго газомъ, а π вѣсъ пустаго шара.

Фиг. 121



Плотность газовъ при 100°. — Реньо сравнивалъ также плотности нѣсколькихъ газовъ при 100°. Опрана для крана шара сдѣлана такъ, чтобы ей можно было выдержать эту температуру: она состоитъ изъ двухъ частей A, B фиг. 121), которыя соединены винтами v, v и между которыми положена круглая, внутри пустая, подушечка, пропитанная жирною смолою, твердѣющею отъ теплоты и

*) Дюма и Буссенго замѣтили, что обтирая шаръ сухою тряпкою, ему сообщается электричество. Реньо это подтвердилъ. Надо дождаться, пока это электричество не разсѣется, потому-что оно произвело бы ошибки при взвѣшиваніи

составленная изъ бѣлилъ и сурика истертыхъ вмѣстѣ съ льнянымъ масломъ. Шаръ подвѣшенъ въ большомъ сосудѣ изъ гальванизированной жести, снабженномъ крышкою, на днѣ его кипятятъ воду и шаръ со всѣхъ сторонъ окружается ея парами.

Измѣреніе коэффиціента расширенія Вѣсъ газа, наполняющаго шаръ при 100°, сравниваемый съ вѣсомъ его при 0°, можетъ служить для вычисленія коэффиціента расширенія этого газа. Пусть P вѣсъ газа при 0° и при давленіи $H-h$; вѣсъ газа, наполняющаго шаръ при давленіи H, будетъ $P\frac{H-h}{H}$; при температурѣ же кипѣнія и при давленіи H' барометра вѣсъ его равенъ $P\frac{H'}{H-h}(1+KT):1+\alpha T$, гдѣ K и α суть коэффиціенты расширенія стекла и газа. И потому, означивъ чрезъ p уменьшеніе въ вѣсѣ, получаемое изъ опыта, найдемъ:

$$p=P\frac{H}{H-h}-P\frac{H'}{H-h}\frac{1+KT}{1+\alpha T},$$

откуда и опредѣляется величина α. Этотъ новый способъ измѣрять коэффиціентъ расширенія позволяетъ изслѣдовать газы, химически дѣйствующіе на ртуть.

Повѣрка закона Маріота. — Наблюдая вѣсъ газа при 0° и при 100° и при разныхъ давленіяхъ, можно повѣрить, будутъ ли получаемыя числа удовлетворять закону Маріота для двухъ постоянныхъ точекъ термометра Этимъ способомъ Реньо узналъ, что углекислота значительно отступаетъ отъ Маріотова закона при 0° и напротивъ, хорошо ему слѣдуетъ при 100° и при давленіяхъ меньшихъ давленія атмосферы; этотъ результатъ согласенъ съ опытами произведенными другимъ способомъ.

Вѣсъ воздуха. Чтобы найти вѣсъ одного литра воздуха, или удѣльный вѣсъ этого газа относительно воды, достаточно узнать объемъ шара, въ которомъ его взвѣшивали или же точный вѣсъ воды при 4°, наполняющей этотъ шаръ Реньо сперва взвѣсилъ открытый шаръ; пусть p этотъ вѣсъ, потомъ прокипятивъ въ немъ немного воды, для того чтобы изъ него изгнать весь воздухъ, заперъ его краномъ. Затѣмъ онъ приготовилъ сосудъ, полный кипящей воды, хорошо освобожденной отъ воздуха и привелъ этотъ сосудъ въ сообщеніе съ шаромъ, посредствомъ трубки погружающейся до дна кипящей воды, когда онъ потихоньку открылъ кранъ, тогда эта

вода, не смѣшиваясь съ воздухомъ, перешла въ шаръ и наполнила его. Потомъ для того, чтобъ шаръ былъ постоянно полонъ, какъ во время охлажденія, такъ и тогда, когда онъ былъ обложенъ тающимъ льдомъ, Реньо замѣнилъ изогнутую трубку другою съ шарикомъ, наполненнымъ кипяткомъ. Кранъ былъ запираемъ, когда температура шара достигла 0°; тогда его погружали въ большую массу воды, чтобъ сообщить температуру комнаты и потомъ взвѣшивали Изъ этого вѣса вычтя вѣсъ p открытаго шара, получаютъ вѣсъ P воды, наполняющей шаръ при 0, безъ вѣса воздуха того же объема и при той же температурѣ. Но вѣсъ воздуха наполняющаго шаръ при 0° извѣстенъ 194); присоединивъ его къ P, получаютъ вѣсъ воды. Потомъ вычисляютъ, какъ великъ бы былъ этотъ вѣсъ, если вода была при 4° и число кубич сантиметр. въ объемѣ шара равно числу грамовъ послѣдняго вѣса

Вотъ результаты, найденные Реньо

Названія газовъ.	Плотность	Вѣсъ одного литра газа при 0° и при 760mm.
Воздухъ.	1	1gr,293187
Азотъ.....	0,97137	1,256167
Кислородъ.....	1,10563	1,429802
Водородъ.....	0,06926	0,089578
Углекислота.....	1,52901	1,977414

Такъ-какъ плотность ртути = 13,596, то отношеніе между ея вѣсомъ и вѣсомъ воздуха при 0° и при давленіи 760 миллим. равно 10513,5.

Въ нижеслѣдующей таблицѣ мы представляемъ плотности нѣкоторыхъ газовъ относительно воздуха, но числа эти, полученныя по первому способу, далеко не такъ точны какъ предъидущія.

Имена газовъ.	Наблюдаемая плотность.	Вычисленная плотность.	Вѣсъ одного литра при 0° и при 760мм.	Имена наблюдателей.
Аммакъ	0,5967	0,5910	0гр.,7752	Біо и Араго.
Іодисто-водородная кисл.	4,4288	4,3399	5,7719	Гэ-Люссакъ.
Кремнефтористая кислота.	3,5735	»	4,6423	Id.
Борно-фтористая кислота.	2,3709	»	3,0800	Id.
Кислота CO Cl (chloroxycarbonique).	»	3,3990	4,4156	Id.
Сѣрнистая кислота	2,2340	»	2,8818	Тенаръ
Сѣрнисто-водородная кислота	1,1912	»	1,5475	Тенаръ и Гэ-Люссакъ.
Хлористо-водородная кис.	1,2474	»	1,6205	Біо и Араго.
Хлоръ	2,4700	2,4260	3,2088	Тенаръ и Гэ-Люссакъ.
Синеродъ	1,8064	1,8044	2,3467	Гэ-Люссакъ
Азотистая окись	1,5204	1,5270	1,9752	Козинъ.
Азотная окись	1,0388	1,0364	1,3495	Бераръ.
Углеродисто-водородный газъ (gaz oléfiant)	0,9780	0,9816	1,2752	Т де Соссюръ.
Газъ C^3H^4 (Hydrogène protocarbone)	0,5550	0,5596	0,7270	Томсонъ.
Мѣльяковисто-водородный газъ	0,6950	2,6950	3,5020	Дюма
Фосфористый трехъ-водородный газъ	1,214	»	1,5660	Id
Окись углерода	0,9569	0,9678	1,2451	Крюкшанкъ.

IV. Приложенія расширенія воздуха

195. Термобарометръ.—Воздушный термометръ, открытый въ своей верхней части и поддерживаемый въ постоянной температурѣ, можетъ служить для измѣренія перемѣнъ въ атмосферномъ давле-

нія; дѣйствительно, если v представляетъ объемъ, занятый газомъ при давленіи 760^{mm}, r радіусъ трубки, въ которой движется индексъ и h количество, на которое индексъ удалился отъ своего положенія при 760^{mm} вслѣдствіе перемѣны x происшедшей въ давленіи, то по закону Маріота получимъ

$$n \mp \pi r^2 h \cdot v = 760 : 760 \pm x, \text{ откуда } 760 \pm x \quad \frac{760\ r}{v \mp \pi r^2 h}.$$

Верхній знакъ соотвѣтствуетъ случаю, когда давленіе превышаетъ 760^{mm}. Изъ этого уравненія можно также вывести величину для объема v, такую, чтобы h было равно n миллиметрамъ когда $x = 0$ одному миллиметру, т.-е. чтобы приборъ былъ въ n разъ чувствительнѣе обыкновеннаго барометра.

Но надобно принять во вниманіе и температуру, потому-что она, измѣняясь, также заставляетъ индексъ перемѣщаться. Для этого, содержа приборъ въ температурѣ 0°, раздѣляютъ его трубку, подвергая ея воздухъ послѣдовательно давленіямъ 760^{mm} и потомъ $760 + h$ миллиметр. Замѣтивъ точки, въ которыхъ при этомъ останавливался индексъ, раздѣляютъ пространство между ними на столько равныхъ частей, сколько въ h заключается миллиметровъ *). Это дѣленіе производятъ на пластинкѣ, могущей двигаться вдоль трубки, на которой означаютъ постоянную точку, соотвѣтствующую положенію индекса при $n^\circ - 760$. Точно такимъ же образомъ можно раздѣлить трубку и для всякой другой постоянной температуры, но только $n^\circ = 760$ уже не будетъ соотвѣтствовать той же точкѣ на трубкѣ, и дѣленія послѣдней будутъ тѣмъ болѣе, чѣмъ объемъ воздуха при 760^{mm} будетъ болѣе, т.-е. чѣмъ температура, при которой производятъ эти дѣленія, будетъ выше. Итакъ для каждой температуры будетъ особенная шкала, и еслибъ эта температура оставалась постоянною, то стоило бы только замѣчать номеръ на шкалѣ, находящійся противъ индекса. Но при температурѣ измѣняющейся отъ одного наблюденія до другаго, очевидно нужно уменьшить результаты замѣченные при t° тѣмъ количествомъ, на которое перемѣстился бы индексъ только вслѣдствіе расширенія отъ теплоты; это то же самое, что опускать

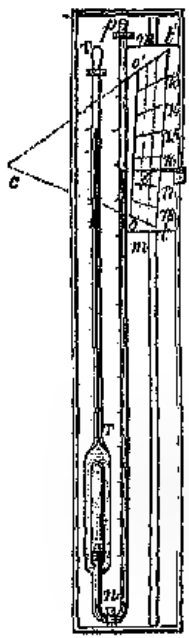
---

*) Это дѣленіе только приближенное; ибо предъидущая формула показываетъ, что h не пропорціонально x; полезно опредѣлить отдѣльно длины дѣленій выше и ниже точки 760; послѣдніи будутъ нѣсколько менѣе первыхъ.

шкалу при t° на столько, чтобъ ея $n^\circ = 760$ помѣстился тамъ, гдѣ находился бы $n^\circ = 760$ шкалы, соотвѣтствующій 0°, т.-е. тамъ, гдѣ на трубкѣ сдѣлана нами черточка; тогда номеръ оказавшійся противъ индекса, принадлежа шкалѣ составленной для температуры t°, и дастъ искомое давленіе; при такомъ употребленіи прибора, показанія его при всякой температурѣ t, даваемой обыкновеннымъ термометромъ, становятся соизмѣримыми съ его показаніями при 0°.

Симіезометръ. — Первая идея термобарометра принадлежитъ Амонтону и Бойлю. Въ 1844 году Бодёръ (Bodeur представилъ термобарометръ довольно удобный въ употребленіи; потомъ этотъ приборъ былъ усовершенствованъ учеными: Эди (Adie, изъ Эдинбурга, Бунзеномъ, Зильберманомъ, Годеномъ. Приборъ Бунзена, названный имъ *симіезометромъ*, представленъ на фигурѣ 122-й. T есть спиртовой термометръ, въ резервуарѣ котораго заключенъ резервуаръ a воздушнаго термометра $a\,n\,p$, чрезъ что воздухъ, помѣщающійся въ a, всегда обладаетъ тою же температурою, какъ и спиртовой термометръ.

Фиг. 122.



Въ трубку воздушнаго термометра, равно какъ и въ часть его резервуара, налито окрашенное масло изъ сладкаго миндаля, жидкость очень легкая, но мало улетучивающаяся. Давленіе атмосферы производится на открытый конецъ p.

Чтобы сдѣлать на трубкѣ давленія, устроиваютъ двѣ шкалы, для двухъ температуръ 0° и t° и для этого подвергаютъ приборъ двумъ давленіямъ 760^{mm} и $760 + h^{mm}$. Эти двѣ шкалы начерчены параллельно одна другой на подвижной пластинкѣ mm. Потомъ проводятъ линіи ot и $o't'$ и, соединивъ точки дѣленія шкалы tt' съ точкою встрѣчи c, получаютъ, на равноотстоящихъ прямыхъ линіяхъ параллельныхъ прямой tt', шкалы соотвѣтствующія порознь различнымъ температурамъ, заключеннымъ между 0° и t°, и именно столько шкалъ сколько градусовъ заключается между 0° и t°, т.-е. число шкалъ $= t$. Точно также можно устроить параллельныя шкалы и для температуръ, которыя ниже 0°, или выше t°; вверху каждой шкалы надписывается температура, которой она соотвѣтствуетъ. Поло

жимъ, что температура равна 10°, то для опредѣленія давленія атмосферы двигаютъ пластинку *m m* до того, чтобы $n^{\circ}=760$ шкалы, соотвѣтствующей 10° пришелъ въ совпаденіе съ черточкою на трубкѣ показывающею положеніе $n^{\circ}=760$ при температурѣ 0°; когда это сдѣлано, тогда подводятъ остроконечный горизонтальный указатель *e* къ вершинѣ маслянаго столбика и замѣчаютъ какое дѣленіе шкалы, соотвѣтствующей температурѣ 10°, совпадаетъ съ указателемъ; это дѣленіе и покажетъ искомое давленіе воздуха. Такимъ-образомъ симпіезометръ можетъ собою замѣнить барометръ; имѣя малые размѣры, онъ очень удобенъ къ переноскѣ и въ-особенности въ морѣ могъ бы быть чрезвычайно полезенъ, гдѣ такъ часто бываетъ трудно наблюдать барометръ; кромѣ-того симпіезометръ очень чувствителенъ

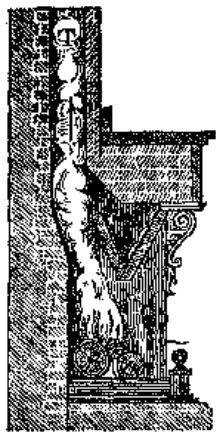
196. Движенія производимыя расширеніемъ газовъ. — Теплота, расширяя воздухъ въ монгольфіерахъ, уменьшаетъ его плотность и тѣмъ заставляетъ ихъ подниматься. Въ подобномъ же явленіи заключается причина возобновленія воздуха около горящихъ тѣлъ нагрѣтые и весьма расширенные газы, происходящіе отъ горѣнія, вслѣдствіе относительной своей легкости поднимаются и въ то же время замѣщаются окружающимъ воздухомъ, одна часть котораго поддерживаетъ горѣніе, расширяется или замѣщается газами весьма расширенными, которые въ свою очередь возвышаются. Дымъ поднимающійся надъ горящими дровами есть ни что иное какъ смѣсь изъ газовъ, весьма расширенныхъ, изъ разныхъ паровъ и изъ угольной пыли.

Въ древности, для отопленія комнаты огонь разводился посреди ея, и дымъ выходилъ въ отверзтіе сдѣланное въ крышѣ. До-сихъ-поръ еще такъ дѣлается въ нѣкоторыхъ странахъ новаго свѣта и даже Европы. Впослѣдствіи, мѣсто для разведенія огня примыкалось къ самой стѣнѣ и дымъ, войдя въ обширный сводъ, поднимался потомъ по широкой вертикальной трубѣ. Въ XV-мъ столѣтіи было сдѣлано нѣкоторое усовершенствованіе въ этой системѣ, присоединеніемъ наличника, имѣющаго цѣлию уменьшить отверзтіе топки. Здѣсь теченіе дыма по трубѣ происходитъ уже не отъ одного вертикальнаго его возвышенія, потому-что онъ можетъ идти и по наклонному каналу и даже сверху внизъ; но отъ особеннаго дѣйствія называемаго тягою.

Тяга каминовъ. Если мы предположимъ трубу камина наполненную теплыми газами, то этотъ газовый столбъ будетъ стремиться

подняться съ силою, которая, по закону Архимеда, равна разности D между его вѣсомъ и вѣсомъ равнаго объема наружнаго холоднаго воздуха, и при этомъ въ нижней части трубы происходитъ какъ-бы всасываніе (фиг. 123), подобное тому, которое произошло бы, еслибъ столбъ теплаго газа былъ замѣненъ поршнемъ подверженнымъ дѣйствію силы D снизу вверхъ. Съ увеличеніемъ объема газоваго столба, эта сила увеличивается, такъ-что, для усиленія тяги, нужно давать этому столбу большую высоту и большее сѣченіе. Кромѣ-того нужно, чтобъ газъ какъ можно менѣе охлаждался и чтобъ онъ вступалъ при высокой температурѣ; слѣдовательно, надо чтобъ весь притекающій воздухъ проходилъ сквозь огонь, при этомъ онъ самъ будетъ нагрѣваться и въ то же время усиливать горѣніе; но это далеко не выполняется въ нашихъ комнатныхъ печахъ, гдѣ большая масса холоднаго воздуха входитъ въ устье и уменьшаетъ температуру газовъ, прикасавшихся къ огню; этотъ недостатокъ ослабляютъ посредствомъ діафрагмы *cc*, уменьшающей отверстіе наличника. Если труба наклонна, то сила, подымающая газовый столбъ, при той же вертикальной его высотѣ, остается тою же.

Фиг. 123.

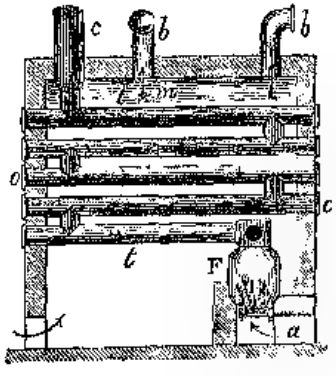


Во всемъ предъидущемъ мы не обращали вниманія на треніе восходящаго газа объ стѣнки трубы. Чтобы по-возможности уменьшить это сопротивленіе, должно трубу располагать вертикально; если же она колѣнчатая, то въ ней должно быть какъ-можно менѣе угловъ и вообще внутренность должна быть очень ровная и очищенная отъ сажи. Круглая труба предпочитается квадратной, потому-что, при равной площади сѣченія, первая имѣетъ наименьшій периметръ, а слѣдовательно и наименьшую поверхность тренія. Топки, въ которыхъ долженъ быть притокъ большаго количества воздуха для сожиганія разомъ соотвѣтствующаго количества топлива, для произведенія сильной тяги, имѣютъ широкія и очень высокія трубы, какъ напримѣръ при паровыхъ котлахъ.

Отопленіе комнатъ нагрѣтымъ воздухомъ. Другое приложеніе расширенія воздуха отъ теплоты заключается въ томъ, что употребляютъ стремленіе нагрѣтаго воздуха подняться вверхъ и быть замѣненнымъ другимъ, для нагрѣванія комнатъ посредствомъ круговращенія воздуха.

Для такого способа отопленія существуетъ двѣ разныя системы: въ первой, пламя изъ печи окружаетъ трубу, нѣсколько разъ согнутую, въ которой течетъ воздухъ, назначенный для нагрѣванія; этотъ воздухъ идетъ потомъ по разнымъ восходящимъ каналамъ къ отверстіямъ, называемымъ *теплыми душниками*; во второй же системѣ обратно, пламя идетъ по трубѣ, а воздухъ эту трубу окружаетъ; въ первой системѣ часть теплоты, сообщенной стѣнкамъ печи, теряется и потому обыкновенно предпочитаютъ вторую систему Фиг. 124, представляетъ одно изъ различныхъ и весьма многихъ расположеній этой системы. *F* есть топка; пламя и дымъ стремятся въ трубу *c*, тяга которой заставляетъ ихъ идти по трубамъ *t*, *t*. Воздухъ, нагрѣтый прикосновеніемъ къ стѣнкамъ этихъ трубъ, поднимается въ пространство *m* и достигнувъ разныхъ теплыхъ душниковъ *b*, *b*, выходитъ ими въ мѣста, которыя желаютъ нагрѣть. Этотъ воздухъ замѣняется наружнымъ, въ то же самое время притекающимъ. Оконечности *o*, *o* могутъ открываться и это сдѣлано для того, чтобъ имѣть возможность очищать трубы. Устройство печей и даже обыкновенныхъ каминовъ часто дополняютъ ящиками изъ листоваго желѣза, въ которые воздухъ входитъ снизу, нагрѣвается прикосновеніемъ къ стѣнкамъ и чрезъ душники, помѣщенные въ верхней части, распространяется по комнатѣ.

Фиг. 124.



Машины приводимыя въ движеніе разрѣженнымъ воздухомъ. — Наконецъ послѣднимъ примѣромъ приложенія расширенія газовъ, мы представляемъ механическое дѣйствіе, произведенное увеличеніемъ упругости воздуха отъ теплоты. Машины, придуманныя для этого дѣйствія, основаны на томъ же началѣ, какъ и паровыя машины, такъ что, только по изученіи послѣднихъ можно будетъ легко себѣ представить дѣйствіе первыхъ.

ГЛАВА V.

Теплоемкость.

197. Намъ неизвѣстно количество теплоты, заключающееся въ тѣлахъ и мы даже не знаемъ сколько его нужно, для даннаго возвышенія температуры, не знаемъ напримѣръ сколько входится въ тѣло теплоты, когда его температура возвышается на одинъ градусъ Но найдено, что необходимое для равнаго измѣненія температуры количество теплоты не одно и то же для различныхъ веществъ или какъ обыкновенно говорятъ, *теплоемкость* различныхъ веществъ не одинакова.

Можно напримѣръ слѣдующимъ способомъ удостовериться, что тѣла имѣютъ различную теплоемкость, смѣшиваютъ двѣ массы воды, одну при t^0, другую при t'^0, масса болѣе холодная нагрѣвается расходомъ теплоты болѣе теплой массы, которая охлаждается, уступая первой свою теплоту до-тѣхъ-поръ пока температура всей смѣси не сдѣлается одинаковою. Эта температура очевидно будетъ равна средней — $\frac{1}{2}(t+t')$, если пренебречь теплотою которую самый сосудъ могъ потерять или поглотить Но если теперь вмѣсто второй массы воды при t'^0, мы возьмемъ равную же массу ртути при t'^0 и если t' меньше t, то опытъ показываетъ, что окончательная температура θ смѣси гораздо болѣе средней, а это доказываетъ, что температура воды понизилась менѣе чѣмъ температура ртути поднялась. Итакъ теплота, потерянная водою при понижеиіи $(t-\theta)^0$ была способна возвысить температуру равной массы ртути на гораздо большее число градусовъ; слѣдовательно, для перемѣны температуры на 1^0, ртуть требуетъ менѣе теплоты чѣмъ вода, такъ что эти два тѣла имѣютъ различныя теплоемкости.

Этимъ замѣчательнымъ открытіемъ мы обязаны Блеку (Black); онъ сдѣлалъ его извѣстнымъ въ періодѣ отъ 1760 до 1765 года своими лекціями химіи въ Гласговѣ. Тогда многіе физики, между которыми должно назвать Ирвина (Irvine), Кроуфорта (Crawfort) и Уилька (Wilcke), начали непрерывъ трудиться изобрѣтеніемъ методъ, могущихъ служить для сравненія теплоемкостей тѣлъ, т.-е. для полученія для каждаго тѣла числа, которому дано было, общеупотребительное теперь, названіе *удѣльнаго теплорода*.

§ 1. Теплоемкости тѣлъ твердыхъ и капельножидкихъ.

I. Методы измѣренія теплоемкости.

198. Опредѣленіе —*Теплоемкостію, удѣльнымъ теплородомъ, количествомъ теплоты* какого-нибудь тѣла, называютъ количество теплоты, которое единица массы этого тѣла должна потерять или пріобрѣсть, чтобы температура его перемѣнилась на 1° За единицу теплоты принимаютъ удѣльный теплородъ воды, т.-е количество теплоты необходимое для нагрѣванія или охлажденія единицы ея массы на 1°. Не должно смѣшивать единицу этого рода съ единицею температуръ или съ градусомъ. Эта послѣдняя есть дѣйствіе, а та есть причина, величина которой мѣняется вмѣстѣ съ тѣломъ

Физики, занимавшіеся этимъ предметомъ, употребляли три разныхъ способа для измѣренія удѣльнаго теплорода тѣлъ Блекъ, Уилькъ и Кроуфортъ придумали способъ смѣшеній, Лапласъ и Лавуазьѐ употребляли для этого таяніе льда, что еще прежде было указано Уилькомъ, Мейеръ же и Лесли дѣйствовали по способу охлажденія.

199. Способъ смѣшеній. — Берутъ цилиндрическій сосудъ изъ тонкой и полированной латуни, заключающій въ себѣ нѣкоторый вѣсъ p воды, температура t которой извѣстна; этотъ сосудъ удерживается нитями протянутыми такъ, чтобы онъ не пріобрѣталъ и не терялъ теплоты чрезъ подставы. Тѣло, теплоемкость котораго желаютъ измѣрить, опускается на тонкой нити въ паровую баню или въ кипящую воду; температура T этихъ срединъ должна быть извѣстна; потомъ его быстро переносятъ въ воду, наполняющую латунный сосудъ; воду эту мѣшаютъ и температура θ смѣси вскорѣ дѣлается постоянною. Чтобы отсюда вывести теплоемкость x тѣла, мы составимъ уравненіе, показывающее, что количество теплоты, пріобрѣтенное водою и сосудомъ, равно тому, которое потеряно тѣломъ Пусть P вѣсъ тѣла, π вѣсъ сосуда и y теплоемкость сосуда Вода, нагрѣвшись на $(\theta - t)^\circ$ пріобрѣла теплоты количество $p(\theta - t)$, потому-что для нагрѣванія единицы ея вѣса на 1° потребно одна единица теплоты и кромѣ-того мы здѣсь принимаемъ, что на каждый градусъ употребляется одинаковое количество теплоты. Сосудъ будучи изъ тонкаго металла и въ каждый моментъ имѣя ту же температуру какъ и вода, также перемѣнилъ свою температуру отъ t° на θ° и, слѣдовательно, пріобрѣлъ теплоты $= \pi y(\theta - t)$. Но тѣло, охладившись на $(T - \theta)^\circ$, потеряло $Px(T - \theta)$ единицъ теплоты и потому получимъ

$$(a) \quad P\,r\,(T-\theta) = p\,(\theta-t) + \pi\,y\,(\theta-t) = (\theta-t)\,(y+\pi\,y).$$

Это уравненіе заключаетъ, кромѣ неизвѣстной x, величину y удѣльнаго теплорода сосуда. Если это послѣднее количество еще неизвѣстно, то его опредѣляютъ или тѣмъ, что вмѣсто испытуемаго тѣла берутъ кусокъ по вѣсу $= P$ изъ того же вещества, какъ и самый сосудъ, тогда въ предъидущемъ уравненіи x и y представятъ одно и то же количество; или же тѣмъ, что дѣлаютъ два опыта съ различными данными, отчего получаютъ два уравненія, изъ которыхъ и вычисляютъ оба неизвѣстныя x и y

Мы здѣсь принимали, что для того же тѣла, количество теплоты, соотвѣтствующее каждому градусу, одно и то же, или что количество теплоты потребное для произведенія нѣкоторой перемѣны въ температурѣ, прямо пропорціонально этой перемѣнѣ. Опытъ показываетъ что, для большаго числа твердыхъ тѣлъ, это справедливо до температуры 100°, потому-что, какія бы температуры t и T ни были, получаемые результаты постоянно оставались тѣми же самыми.

Въ этомъ способѣ происходитъ нѣкоторая погрѣшность отъ потери теплоты смѣси чрезъ лучеиспусканіе стѣнокъ сосуда и поверхности жидкости; но ее ослабляютъ, выбирая данныя такъ, чтобъ температура смѣси выходила немногимъ выше температуры наружнаго воздуха, и употребляя сосудъ изъ полированнаго металла, т.-е такой, чтобъ его лучеиспусканіе было по возможности слабѣе. Впрочемъ возможно сдѣлать эту ошибку ничтожною методою компенсаціи Румфорта Температуру t берутъ такую, чтобъ она была ниже окружающей, а вѣсу P даютъ такую величину, чтобъ θ на такое же число градусовъ вышла выше этой внѣшней температуры, тогда впродолженіи первой части опыта сосудъ получитъ извнѣ нѣкоторое количество теплоты, но во второй части опыта онъ потеряетъ это же самое количество, такъ что этимъ получится почти совершенная компенсація. Чтобъ опредѣлить вѣсъ P, способный привести къ требуемой величинѣ θ, употребляютъ способъ послѣдовательныхъ поправокъ, т.-е. въ началѣ выводятъ приближенную величину x, не обращая вниманія на причину разсматриваемой ошибки, а потомъ эту величину вносятъ въ уравненіе (a), изъ котораго и вычисляютъ вѣсъ P, соотвѣтствующій данной величинѣ θ.

Эквивалента тѣла въ отношеніи воды. Если означимъ чрезъ c удѣльный теплородъ тѣла и чрезъ P его вѣсъ, то количество теплоты необходимое для возвышенія его температуры на 1°, будетъ $P\,c$. Чтобы этимъ

самымъ количествомъ возвысить температуру воды на 1°, то очевидно необходимо, чтобъ вѣсъ воды былъ равенъ Pc; вотъ почему это произведеніе Pc называется *эквивалентъ тѣла въ отношеніи воды*. Этотъ вѣсъ воды, для произведенія той же перемѣны въ температурѣ, дѣйствуетъ тѣмъ же количествомъ теплоты, какъ и вѣсъ P разсматриваемаго тѣла. Въ формулѣ (a) πy представляетъ эквивалентъ сосуда въ отношеніи воды.

Случай капельножидкихъ тѣлъ.—Способъ смѣшеній прилагается также и къ капельнымъ жидкостямъ; но если подобная жидкость химически дѣйствуетъ на воду, то ее заключаютъ въ металлическій или стеклянный сосудъ, котораго бы вѣсъ π' и теплоемкость c были извѣстны и который бы всегда имѣлъ ту же температуру, какъ и эта жидкость; и тогда къ первой части уравненія (a) присоединяютъ количество $\pi' c$ $(T - \theta)$, выражающее теплоту, уступленную этимъ сосудомъ. И твердыя тѣла должно также заключить въ сосуды, если только вода производитъ на нихъ химическое дѣйствіе, которое всегда сопровождается перемѣною температуры.

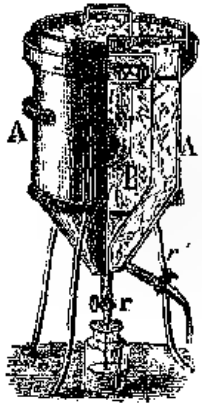
200. Опредѣленіе теплоемкостей по таянію снѣга.—Этотъ способъ, столь извѣстный работами Лапласа и Лавуазье, основанъ на слѣдующемъ выводѣ изъ опыта для того чтобъ 1 граммъ льда при 0° перевести въ воду, которая бы имѣла ту же температуру 0°, потребно 79 единицъ теплоты. Принявъ это, берутъ кусокъ чистаго льда и продалбливаютъ въ немъ углубленіе, которое можно было бы плотно закрывать пластинкою изъ льда (фиг. 125); когда ледъ пріобрѣлъ температуру 0° и углубленіе въ немъ хорошо вытерто, тогда, опредѣливъ вѣсъ P и температуру T тѣла, теплоемкость котораго желаютъ опредѣлить, кладутъ его въ это углубленіе; тѣло охлаждается и пріобрѣтаетъ наконецъ температуру 0°; часть же льда въ это время обращается въ воду, которую собираютъ и взвѣшиваютъ. Если p ея вѣсъ, то $79\,p$ есть количество теплоты, израсходованное при таяніи вѣса p льда и оно израсходовано тѣломъ, температура котораго понизилась отъ $T°$ до 0° и, слѣдовательно $= Px\,T$; такъ-что $Px\,T = 79\,p$, откуда величина x и опредѣлится.

Фиг. 125.

Калориметръ Лапласа и Лавуазье — Трудность достать большихъ размѣровъ куски льда, безъ дыръ и трещинъ, заставила придумать калориметръ (фиг. 126). Этотъ приборъ состоитъ изъ трехъ сосудовъ, вложенныхъ одинъ въ другой: внутренній, самый маленькій, весь въ дырочкахъ; въ него кладутъ испытуемое тѣло, окружаемое

толченымъ льдомъ, которымъ наполняютъ также промежутки между сосудами, и обкладываютъ крышки этихъ сосудовъ. Теплота, теряемая тѣломъ, распускаетъ часть льда лежащаго вокругъ тѣла, равно какъ и того, который наполняетъ пространство *B*. Черезъ кранъ *r* собираютъ образующуюся воду. Маленькая решетка препятствуетъ льду проходить въ кранъ и тѣмъ его засаривать. Ледъ находящійся на крышкахъ и въ пространствѣ *A A B*, препятствуетъ наружной теплотѣ достигать средины *B*; эта теплота растапливаетъ только ледъ, прикасающійся къ наружной оболочкѣ *A A*; вода изъ этого льда происходящая, выходитъ черезъ кранъ *r*.

Фиг. 126.



Часовъ черезъ 30 температура тѣла оказывается спустившеюся до 0°; тогда взвѣшиваютъ собранную черезъ кранъ *r* воду, и изъ этого вѣса выводятъ удѣльный теплородъ тѣла точно такъ, какъ это сдѣлано выше.

Чтобъ приложить этотъ способъ къ капельной жидкости, должно ее заключить въ сосудъ, удѣльный теплородъ котораго извѣстенъ; теплоту потерянную этимъ сосудомъ присоединяютъ къ той, которая уступлена самою жидкостью и эту сумму приравниваютъ количеству теплоты, поглощенному растаявшимъ льдомъ.

Способъ калориметра не совершенно точенъ, потому-что между кусками льда, равно какъ и на ихъ поверхности, остается вода, количество которой не одно и то же при началѣ и при концѣ опыта; потому-что оставшіеся куски льда не имѣютъ ни прежней формы, ни прежняго относительнаго положенія.

Эту ошибку уменьшаютъ, дѣйствуя надъ большими массами тѣла. Случается также, что между кусками льда пробирается воздухъ, чрезъ что увеличивается количество растаявшаго льда и поэтому, чтобъ сдѣлать эту новую причину ошибки незначительною, надобно дѣйствовать при температурѣ 4° или много-что при 5°.

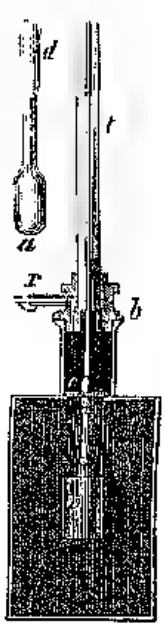
201. Способъ охлажденія.—Предъидущій способъ можетъ быть приложенъ преимущественно къ веществамъ, которыя имѣются въ большихъ массахъ. Способъ же охлажденія употребляется, напротивъ, только для тѣхъ, которыхъ имѣютъ въ малыхъ количествахъ. Дюлонгъ и Пти первые старались усовершенствовать этотъ способъ. Тѣ-

ла, теплоемкости которыхъ желаютъ сравнивать, заключаются въ равномъ объемѣ и для этого помѣщаются въ весьма тонкій металлическій сосудъ, въ которомъ находится термометръ. Тѣла эти употребляютъ въ порошкѣ, чтобы теплопроводность ихъ сдѣлать по-возможности одинаковою. Замѣчаютъ время, которое они употребляютъ чтобъ охладиться на тоже число градусовъ, начиная отъ той же, одинаковой для всѣхъ тѣлъ, температуры, между-тѣмъ какъ они помѣщены въ пустомъ пространствѣ, имѣющемъ постоянную температуру При всѣхъ тѣхъ же обстоятельствахъ, количества теплоты, потерянныя тѣлами втеченіи замѣченныхъ промежутковъ времени, будутъ пропорціональны этимъ промежуткамъ. Притомъ, эти количества выразятся чрезъ $pc\theta$ и $p'c\theta$, если θ представляетъ пониженіе температуры, p и p' вѣсы тѣлъ и c и c' ихъ теплоемкости, и потому, если t и t' суть времена охлажденія, то получимъ:

$$pc\theta : p'c'\theta = t : t'.$$

Реньо подробно изучилъ этотъ способъ*. Фигура 127-я, представляетъ приборъ, принятый имъ послѣ множества попытокъ. v есть серебряный позолоченный цилиндрическій сосудъ, въ которомъ заключенъ резервуаръ весьма чувствительнаго термометра. Испытуемое вещество приводятъ въ мельчайшій порошокъ и вкладываютъ въ сосудъ черезъ дно его, могущее для этого отдѣляться, и потомъ въ сосудъ сгребаютъ это вещество къ самому термометру, такъ-что послѣдній со всѣхъ сторонъ имъ окруженъ. Сосудъ этотъ вносится въ ящикъ изъ латуни, съ внутренней стороны покрытый сажею. Пластинка c, прикрѣпленная къ термометру, закрываетъ ящикъ сверху Термометръ устанавливается въ шейкѣ ящика помощію изогнутаго кольца съ винтомъ, которымъ сдавливаютъ между-собою бортъ шейки съ бортомъ гайки, и термометръ, стержня котораго обернутъ стеклянною трубкою t, прикрѣпляется къ этой гайкѣ. Такъ-какъ влажность имѣетъ большое вліяніе на результаты, то, для осушенія

Фиг. 127.



*) Annales de chimie et de physique, 3 série, t. IX

прибора, изъ него нѣсколько разъ выкачиваютъ воздухъ, вводя затѣмъ въ него каждый разъ совершенно сухаго, въ это время погружая приборъ въ воду при 40°. Когда термометръ, понижаясь, достигаетъ 35°, тогда весь приборъ погружаютъ въ тающій ледъ и, дождавшись температуры 20°, записываютъ моменты, замѣченные на хронометрѣ, когда температура была 15°, 10°, 5°. Движеніе ртути наблюдается издалека зрительною трубою, подвижною вдоль вертикальной стойки. Если p и p' суть вѣсы двухъ веществъ наполнявшихъ сосудъ v; c и c' ихъ удѣльные теплороды, k эквиваленть сосуда въ отношеніи воды и заключающейся въ немъ части термометра; t и t' времена, въ которыя произошло одинаковое пониженіе температуры, то получимъ: $pc + k : p'c' + k = t : t'$. Количество k можно вычислить, зная теплоемкости и вѣсы серебра и частей ртути и стекла заключенныхъ въ сосудѣ; но легче его опредѣлить изъ двухъ опытовъ, т.-е. наполняя сосудъ поочередно двумя веществами, теплоемкости которыхъ заранѣе опредѣлены способомъ смѣшеній, тогда предъидущее уравненіе дастъ величину k.

Несмотря на всѣ предосторожности, доходившія до мелочей, Реньо, при всемъ своемъ стараніи, не могъ достигнуть въ этомъ способѣ до удовлетворительныхъ результатовъ. Это могло происходить отъ разности въ теплопроводности употребляемыхъ веществъ, разности, вслѣдствіе которой теплота не съ одинаковою легкостію переходила изъ внутренности ихъ массы къ лучеиспускающей поверхности. Однакожь, должно заключить, что здѣсь кроется и какая-нибудь другая причина ошибокъ, потому-что то же вещество, при томъ же состояніи и будучи одинаково сгребаемо около термометра, доставляетъ результаты, значительно между собою разнящіеся.

Де-ла-Рив и Марсе* удостовѣрились, что часть ошибокъ зависитъ отъ степени твердости съ которою уложено испытуемое вещество, т.-е. отъ такого обстоятельства, которое не можетъ быть одинаковымъ въ двухъ различныхъ опытахъ. Они нашли, напримѣръ, что удѣльный теплородъ угля въ порошкѣ, сравниваемый съ теплоемкостію мѣди, оказывается тѣмъ мѣньшимъ, чѣмъ тверже онъ уложенъ.

Случай капельныхъ жидкостей. — Неточности, о которыхъ мы говоримъ, не существуютъ для этихъ тѣлъ, въ-особенности когда онѣ

---

*) Annales de chimie et de physique 3 série, t. V.

мало различаются по своимъ физическимъ свойствамъ. Реньо заключалъ жидкость въ маленькую тонкую стклянку съ длинною шейкою *ad* (фиг. 127), въ которую погружалъ термометръ и укрѣплялъ стклянку въ цилиндрической оградѣ, которой внутренняя поверхность была зачернена. Чтобы, во время охлажденія, резервуаръ стклянки оставался полнымъ, то Реньо наливалъ жидкости столько, чтобы она занимала маленькое пространство, остающееся около стержня термометра. Вѣсъ жидкости выражался плотностію ея при температурѣ наблюденій

202. Общіе выводы. —Предъидущіе способы, приложенные къ твердымъ и къ капельножидкимъ тѣламъ, показали, что послѣднія тѣла имѣютъ вообще гораздо бо́льшую теплоемкость, чѣмъ первыя. Удѣльный теплородъ воды есть самый большой, откуда слѣдуетъ, что теплоемкости другихъ тѣлъ суть дробныя числа. Большая теплоемкость воды есть причина, почему она такъ медленно нагрѣвается и охлаждается. Отсюда также проистекаетъ ея свойство сильно охлаждать горячія тѣла, какъ это обнаруживается при закалкѣ. Отопленіе зданія циркуляціей теплой воды основано именно на томъ, что вода много поглощаетъ теплоты, которую потомъ возможно переносить по желанію.

Теплоемкость при разныхъ состояніяхъ тѣла. — Въ капельножидкомъ состояніи то же вещество имѣетъ бо́льшую теплоемкость, чѣмъ когда оно въ твердомъ состояніи; а когда въ газообразномъ, то, какъ мы увидимъ, также меньшую теплоемкость, чѣмъ въ капельномъ состояніи. Этотъ важный результатъ открытъ Ирвиномъ (Irvine) и спеціально изученъ Персономъ (Person), по способу, который мы далѣе опишемъ. Для примѣра, укажемъ на ледъ, удѣльный теплородъ котораго есть $^1/_2$, между-тѣмъ какъ теплоемкость воды равна 1. Но есть тѣла, каковы ртуть, фосфоръ, для которыхъ разница между теплоемкостями, въ твердомъ и жидкомъ состояніяхъ, мало замѣтна.

Зависимость отъ плотности.—Тѣла менѣе плотныя имѣютъ вообще бо́льшую теплоемкость. Такъ металлы, тѣла по преимуществу плотныя, поглощаютъ мало теплоты при своемъ нагрѣваніи и между ними наиболѣе плотныя обладаютъ наименьшею теплоемкостію. Напримѣръ, для золота, платины, ртути удѣльный теплородъ равенъ 0,032 около, для свинца 0,031; для серебра, кадмія—0,056; для мѣди, цинка—0,095; для желѣза, кобальта, никкеля — 0,10; для калія, который легче воды, удѣльный теплородъ равенъ 0,17 *).

*) См. таблицу, стр. 304.

Ртуть, несмотря на свое капельножидкое состояніе, какъ одинъ изъ самыхъ плотныхъ металловъ, обладаетъ малою теплоемкостію; это обстоятельство дѣлаетъ выгоднымъ употребленіе ея для измѣренія температуръ. Окисленіе уменьшаетъ плотность металловъ и увеличиваетъ ихъ теплоемкость. Когда вещество находится въ газообразномъ состояніи, тогда удѣльный его теплородъ наибольшій, между-тѣмъ какъ плотность — наименьшая *). Крайній случай представляетъ намъ водородный газъ, наименѣе плотный изъ всѣхъ тѣлъ; его теплоемкость—самая большая и равна 3,4, т.-е. она одна только больше теплоемкости воды. Наконецъ увеличеніе температуры уменьшаетъ плотность тѣлъ и увеличиваетъ ихъ теплоемкость, что мы сейчасъ и увидимъ.

203. Перемѣна теплоемкости отъ температуры. — Опыты Уилька, Кроуфорта, Мейера, де-Люка, Лапласа и Лавуазьѐ, Кирвана, Румфорта, заставили принять, что *теплоемкость твердыхъ тѣлъ постоянна до температуры 100°* Потомъ Дальтонъ утверждалъ, что теплоемкость тѣлъ должна увеличиваться съ увеличеніемъ ихъ температуры, потому-что часть теплоты употребляется на ихъ расширеніе, такъ, что удѣльный теплородъ оставался бы постояннымъ, еслибъ тѣло не расширялось. Для повѣрки этого предположенія, не замедлили произвести опыты при температурахъ выше 100°.

Случай высокихъ температуръ. — Опытами, при которыхъ температура достигала до 300°, Дюлонъ и Пти доказали, что *съ увеличеніемъ температуры, высшей 100°, теплоемкость твердыхъ тѣлъ увеличивается*; при этомъ они употребляли способъ смѣшеній; тѣлу давалась форма плоскаго кольца, для того, чтобъ оно представляло большую поверхность и нагрѣвали его въ масляной ваннѣ или въ кипящей ртути; слой масла, прилипающій къ тѣлу, производилъ маленькую погрѣшность въ результатѣ; но ее принимали во вниманіе, заранѣе, опредѣляя вѣсъ масла, увлекаемаго кольцомъ при температурѣ опыта; получали слѣдующіе результаты.

---

*) Это не справедливо—теплоемкость тѣлъ меньше въ газообразномъ, чѣмъ въ жидкомъ состояніи; напр. теплоемкость воды=1, а водяныхъ паровъ=0,475
Э. Л.

Имена веществъ.	Средніе теплоемкости. между 0° 100°	между 0° 300°	T.	Имена веществъ.	Средніе теплоемкости. между 0° 100°	между 0° 300°	T.
Желѣзо	0,1098	0,1218	332°,2	Серебро.....	0,0557	0,0611	329°,3
Ртуть.....	0,0330	0,0350	318,2	Мѣдь.....	0,0949	0,1013	320,0
Цинкъ.....	0,0927	0,1015	328,5	Платина.....	0,0355	0,0355	317,9
Сурьма	0,0507	0,0549	324,8	Стекло.	0,177	0,199	322,1

Пирометръ съ постоянною теплоемкостію — Въ этой таблицѣ T означаетъ температуры, соотвѣтствующія 300° воздушнаго термометра; эти температуры такія, какія показывались бы термометромъ, составленнымъ изъ соотвѣтствующихъ веществъ, еслибъ ихъ теплоемкости оставались постоянными. Дѣйствительно, возможно вычислить температуру тѣла, когда извѣстна его теплоемкость; достаточно, слѣдуя способу смѣшеній, погрузить его въ ванну съ водою и тогда уравненіе $Pc(T-\theta)=(p+\pi y)(\theta-t)$,—выражающее, что теплота потерянная тѣломъ равна той, которая пріобрѣтена водою и сосудомъ,—послужитъ къ вычисленію температуры T тѣла, если только его теплоемкость c извѣстна и полагается постоянною при всѣхъ температурахъ.

Этотъ способъ доставляетъ одно изъ весьма простыхъ пирометрическихъ средствъ: хотятъ ли напримѣръ получить температуру печи, кладутъ въ нее платиновый шаръ, который и пріобрѣтаетъ эту температуру; потомъ этотъ шаръ погружаютъ въ ванну съ водою и тогда нагрѣваніе послѣдней позволитъ опредѣлить температуру платины. Если удѣльный теплородъ этого металла не извѣстенъ, тогда дѣлаютъ два наблюденія съ двумя различными приборами и съ двумя различными массами платины; и тогда получаютъ два уравненія, изъ которыхъ и извлекаютъ удѣльный теплородъ платины.

Температуры, полученныя этимъ способомъ, несоизмѣримы съ тѣми, которыя доставляются воздушнымъ термометромъ, ибо съ увеличеніемъ температуры удѣльный теплородъ твердыхъ тѣлъ увеличивается; однакожь платина есть такой металлъ, который доставляетъ наименѣе ошибочные результаты; это видно изъ предыдущей таблицы. Температура можетъ быть найдена довольно точно, если извѣстны среднія

теплоемкости платины между 0° и разными весьма возвышенными температурами; дѣйствительно, въ началѣ температуру платины задаютъ приближенно и берутъ ея теплоемкость, соотвѣтствующую этой приближенной величинѣ; потомъ при этой теплоемкости, изъ предъидущаго уравненія вычисляютъ болѣе точную температуру платины; для этой температуры снова берутъ теплоемкость, которую снова подставляютъ въ то же уравненіе, изъ котораго окончательно выводятъ искомую температуру платины. Пульѐ опредѣлялъ изъ опыта тѣ данныя, которыя должно употреблять при такихъ послѣдовательныхъ дѣйствіяхъ, онъ нашелъ для среднихъ теплоемкостей платины между 0° и температурами:

	100°	300°	500°	700°	1000°	1200°
величины	0,0335	0,03434	0,03518	0,03602	0,03728	0,03818.

Результаты эти получены по способу смѣшеній. Нагрѣтый платиновый шаръ былъ бросаемъ въ мѣдный проволочный коробъ, погруженный въ воду, при вычисленіяхъ эта мѣдь была принята во вниманіе.

Случай легкоплавкихъ тѣлъ. — Увеличеніе теплоемкости, при увеличеніи температуры, тѣмъ болѣе замѣтно, чѣмъ ближе эти тѣла къ своимъ точкамъ плавленія. Въ опытахъ Дюлонга и Пти надъ трудноплавкими тѣлами, это увеличеніе обнаруживалось выше точки 100°. Чрезвычайно слабо измѣняется теплоемкость платины; этотъ металлъ болѣе другихъ трудноплавкій. Для свинца, металла наиболѣе близкаго къ своей точкѣ плавленія Реньо нашелъ теплоемкость равную 0,03065 между температурами + 10° и — 77°,75, для полученія послѣдней температуры, свинецъ погружался въ твердую углекислоту; но между 10° и 100° эта теплоемкость оказалась 0,0313. Фосфоръ, плавящійся при 45°, далъ слѣдующія числа:

	0,1740	0,1788	0,1888
между	—77°,55 и + 10°,	—21° и + 70°,	—10° и + 30°.

Случай капельножидкостей. — Для этихъ тѣлъ увеличеніе теплоемкости съ температурою въ особенности замѣтно; такъ между температурами — 6° и + 10°, 11° и 48°, 13° и 58° теплоемкость брома оказалась равною порознь 0,10513, 0,11094, 0,11294. Для терпентинной же эссенціи получились числа 0,426 между 15° и 20° и 0,4672 между 16° и 100°, подобное увеличеніе теплоемкости весьма значи-

тельно; вѣроятно оно происходитъ отъ того, что съ увеличеніемъ температуры поглощается бо́льшее количество теплоты, соотвѣтствующее увеличенію расширенія.

204. Теплоемкость водныхъ солей. — Количество теплоты, необходимое для возвышенія на 1° температуры смѣси нѣсколькихъ тѣлъ, равно суммѣ количествъ поглощаемыхъ каждымъ тѣломъ; такъ, что если m, m', m'',..... суть массы этихъ тѣлъ, c, c', c'',... .—теплоемкости ихъ, то теплоемкость смѣси будетъ $\frac{mc+m'c'+m''c''+\ldots}{m+m'+m''+\ldots}$, т. е средняя. Персонъ удостовѣрился, что водныя соли относятся къ этому же случаю, такъ что ихъ теплоемкость выражается чрезъ $\frac{mc+m'c'}{m+m'}$, гдѣ m и m' суть пропорціональныя части соли и химически-соединенной съ нею воды, количество c есть теплоемкость безводной соли, а c'—*удѣльный теплородъ льда*; отсюда слѣдуетъ то замѣчательное явленіе, что вода, химически-соединенная съ солью, находится въ состояніи льда, или по-крайней-мѣрѣ имѣетъ ту же теплоемкость, какъ и въ своемъ твердомъ состояніи.

205. Обстоятельства измѣняющія теплоемкость того же твердаго тѣла. — Удѣльный теплородъ того же твердаго вещества, зависитъ отъ сцѣпленія его частицъ и также, между прочимъ, отъ физическихъ и механическихъ на него дѣйствій Можно сказать вообще, что все, что увеличиваетъ плотность и сцѣпленіе частицъ тѣла, должно уменьшать его теплоемкость.

Реньо достигъ нѣсколькихъ подобныхъ результатовъ, употребляя способъ смѣшеній и слѣдуя путемъ, которыя мы вскорѣ представимъ.

Теплоемкость пережженаго желѣзнаго купороса уменьшается, по мѣрѣ того какъ обжиганіемъ увеличивается его сцѣпленіе, такъ-что наконецъ эта теплоемкость дѣлается равною той, какую имѣетъ колчеданъ. Окись никкеля, обожженная въ горнѣ, доставляетъ теплоемкость гораздо мѣньшую, чѣмъ когда она просто до-красна обожжена.

Теплоемкость красной мѣди, довольно тягучей, будучи равна 0,09501, обратилась въ 0,09360, когда металлъ былъ подвергнутъ ковкѣ ударами молота; закалка же возвратила ему прежнюю теплоемкость. Подвергнутые ударамъ коромысла для чеканки, свинецъ и олово не обнаружили перемѣны въ своей теплоемкости, но и плотность ихъ при этомъ не увеличивалась.

Батавскія слезки, сталь, металлъ музыкальныхъ тарелокъ, обнаружили столь малыя перемѣны въ своихъ теплоемкостяхъ, при ихъ за-

каленіи и перекаленіи, что онѣ могли быть приписаны ошибкамъ наблюденій.

Углекислая известь представила значительныя разности, зависѣвшія отъ ея физическаго состоянія, въ видѣ аррагонита и исландскаго шпата она имѣла теплоемкость 0,2085, въ состояніи мѣла—0,2148 и въ состояніи бѣлаго сахаровиднаго мрамора—0,2158.

Сѣра, недавно расплавленная, доставила число 0,1844; два мѣсяца послѣ плавленія она имѣла теплоемкость 0,1803, но происшествіи же двухъ лѣтъ, это число сдѣлалось равнымъ 0,1764. Наконецъ теплоемкость натуральной кристаллизованной сѣры, равна 0,1776. Извѣстно, что кристаллическое состояніе недавно расплавленной сѣры мало-по-малу мѣняется, въ этомъ и заключается причина уменьшенія ея теплоемкости, которая наконецъ дѣлается почти равною теплоемкости натуральной сѣры.

Углеродъ есть вещество, которое представляетъ самыя большія перемѣны въ своей теплоемкости, соотвѣтствующія перемѣнамъ его физическаго состоянія; чѣмъ менѣе онъ плотенъ, тѣмъ болѣе его теплоемкость. Вотъ числа найденныя Реньо:

Животная сажа	0,26	Графитъ натуральный и изъ газовыхъ ретортъ . .	0,20
Древесный уголь . .	0,24	Алмазъ	0,14.
Коксъ	0,20		
Антрацитъ	0,20		

Де-ла-Ривъ и Марсе, способомъ охлажденія, нашли теплоемкость алмаза = 0,1192. Для угля, полученнаго изъ той же вѣтви тополя, они опредѣлили число 0,2964; но когда онъ былъ подвергнутъ закалкѣ (доведеніемъ его до бѣло-калильнаго жара въ герметически закрытомъ платиновымъ тиглѣ, который потомъ былъ погруженъ въ воду), то теплоемкость его оказалась 0,2009. Чрезъ закалку плотность увеличивается въ томъ же отношеніи, въ какомъ теплоемкость уменьшается. Вообще чѣмъ болѣе частицы угля раздѣлены, тѣмъ значительнѣе его теплоемкость.

II Законъ удѣльнаго теплорода атомовъ.

206. Законъ удѣльнаго теплорода простыхъ атомовъ.— Измѣривъ, способомъ охлажденій, удѣльный теплородъ тринадцати про-

стыхъ тѣлъ, Дюлонгъ и Пти, въ 1819 году *), открыли слѣдующій законъ, одинъ изъ самыхъ важныхъ въ физикѣ: *атомы всѣхъ простыхъ тѣлъ обладаютъ тою же теплоемкостью.* Вотъ какъ утверждаютъ этотъ законъ: если C теплоемкость тѣла и n число его атомовъ, заключенныхъ въ единицѣ вѣса, то $c = \frac{C}{n}$ представитъ удѣльный теплородъ одного атома, а $p = \frac{1}{n}$ будетъ его вѣсъ. Если умножить C на p, то получится $C \times p = c$ Слѣдовательно удѣльный теплородъ атома равенъ теплоемкости его вещества, умноженной на вѣсъ самаго атома. Но относительные вѣсы атомовъ опредѣлены законами химіи, такъ-что произведеніе $C \times p$ возможно получить въ числахъ, оказалось, что оно постоянно и равно 0,37 около. Разницы не должны быть приписаны только неточностямъ употреблявшагося способа наблюденій, но также и тому вліянію, которое оказываетъ на теплоемкость состояніе тѣла, вліянію, которое мы выше представили

Законъ Дюлонга и Пти можно также выразить слѣдующимъ образомъ: *удѣльные теплороды простыхъ тѣлъ обратно пропорціональны вѣсамъ ихъ атомовъ.*

Есть нѣкоторыя простыя тѣла, вѣсъ атома которыхъ не могъ быть вѣрно опредѣленъ изъ химическихъ данныхъ; для такихъ тѣлъ встрѣчается затрудненіе въ выборѣ чиселъ, которыя суть кратныя одно къ другому и отношенія между которыми выражается весьма малыми цѣлыми числами, въ такихъ случаяхъ законъ удѣльнаго теплорода атомовъ можетъ разсѣять всѣ эти сомнѣнія и показать настоящую величину вѣса атома. Со времени открытія этого закона, успѣхи химіи заставили перемѣнить вѣсъ атома нѣкоторыхъ веществъ, такъ-что этотъ законъ иногда оказывается недостаточнымъ, если для его приложенія употребляются теплоемкости, данныя Дюлонгомъ и Пти, слѣдовательно, было необходимо произвесть новые опыты, которые и подтверждали справедливость этого закона, сдѣлавъ поправки въ величинахъ, которыя были не совсѣмъ вѣрны вслѣдствіе неточности способа охлажденія.

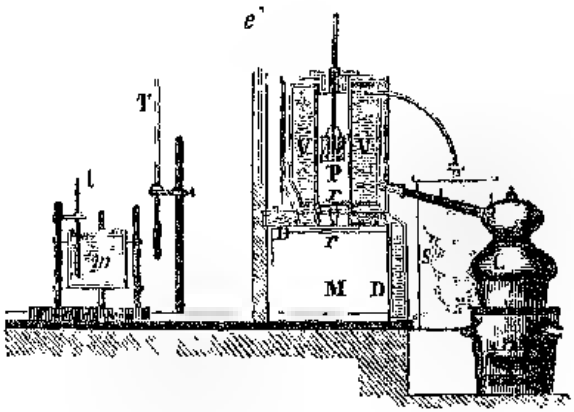
207. Опыты Реньо.—Здѣсь Реньо дѣйствовалъ по способу смѣшеній, который, будучи значительно имъ усовершенствованъ, сдѣлался гораздо болѣе вѣрнымъ въ употребленіи, чѣмъ прежде **). Фигура

*) Annales de chimie et de physique, 2 série, t. LXXIII.

**) Annales de chimie et de physique, t. LXXIII.

128-я представляетъ общій видъ употребляемаго имъ прибора Кюски

фиг. 128



испытываемаго вещества положены въ маленькую проволочную коробочку *P*, посрединѣ которой оставлено цилиндрическое мѣсто для резервуара термометра. Эта коробочка повѣшена на шелковыхъ нитяхъ въ паровой банѣ, составленной изъ трехъ жестяныхъ сосудовъ, помѣщенныхъ одинъ въ другомъ. Пространство *P* наполнено воздухомъ; пространство же *VV* протекается водянымъ паромъ, идущимъ изъ пароваго котла *C* и выходящимъ въ змѣеобразную трубу *s* холодильника, гдѣ онъ и осаждается въ водяныя капли. Наружное пространство заключаетъ слой воздуха, который, прилегая сосуду *VV*, не позволяетъ ему быстро охлаждаться. Калориметръ, въ которомъ производится смѣшеніе, состоитъ изъ цилиндрическаго сосуда *m*, весьма тонкой латуни, стоящаго на перекрестныхъ шелковыхъ нитяхъ, прикрѣпленныхъ къ маленькой повозкѣ, которая, двигаясь съ рельсомъ, можетъ подвезти сосудъ въ *M* подъ паровую баню. Жестяная согнутая оболочка *D D*, наполненная водою, которую часто возобновляютъ, предохраняетъ пространство *M* отъ лученспусканія бани и котла *C*. Отверстіе *r r*, закрываемое двойною подвижною задвижкою, позволяетъ пустить коробочку въ сосудъ *m*, помѣщенный въ *M*. Температура сосуда *m* показывается термометромъ, резервуаръ котораго занимаетъ всю его глубину. Температура же наружнаго воздуха, служащая для разныхъ поправокъ, узнается по неподвижному термометру *T*.

Въ каждомъ опытѣ ждутъ, пока ртуть въ термометрѣ *P* не установится, что требуетъ около двухъ часовъ; черезъ часъ, по-крайней-

мѣрѣ, послѣ этого, замѣчаютъ, издалека посредствомъ трубы, показанія термометровъ t и T. Тогда поднявъ экранъ e, двигаютъ повозку въ M и, открывъ задвижку $r\,r$, опускаютъ коробку въ воду сосуда m' и потомъ снова ставятъ повозку передъ зрительною трубою. Пока наблюдаютъ ходъ термометра t, помощникъ, движеніемъ коробочки въ водѣ, уравниваетъ температуру во всей массѣ воды; по прошествіи одной или двухъ минутъ термометръ t достигаетъ своей наибольшей высоты.

Чтобы изъ полученнаго результата исключить ошибку, происшедшую отъ теплоты, взятой или уступленной окружающимъ воздухомъ, берутъ воду калориметра при температурѣ на 1° или 2° ниже окружающей, а поступаютъ такъ, чтобы къ концу опыта эта температура на 1° или 2° оказалась выше окружающей. Принимаютъ, что впродолженіи 30′ времени, протекшихъ отъ наблюденія начальной температуры, до момента, когда калориметръ поставленъ противъ зрительной трубы, вода сохраняетъ свою начальную температуру, а что она обладаетъ окружающею температурою, впродолженіи четверти того времени которое протекаетъ до момента наибольшей высоты термометра. Замѣченное повышеніе температуры исправляютъ маленькою дробною частію градуса, вычисленною по формулѣ интерполированія, составленной изъ ряда опытовъ, произведенныхъ при тѣхъ самыхъ условіяхъ, какъ и настоящій опытъ. Пріобрѣтеніе теплоты впродолженіи втораго періода, вычитаютъ изъ потери теплоты втеченіи послѣдняго періода. Поправку присоединяютъ къ замѣченному повышенію температуры. Въ опытахъ Реньо эта поправка заключалась только въ 3-хъ или 4-хъ сотыхъ градуса. Означивъ черезъ p вѣсъ воды въ калориметрѣ, увеличенный эквивалентомъ сосуда въ отношеніи воды, черезъ P—вѣсъ тѣла, черезъ T, t, θ—температуры тѣла, воды и смѣси, черезъ π и c—вѣсъ и теплоемкость коробочки и наконецъ черезъ θ'—поправку, соотвѣтствующую дѣйствію окружающей средины, для опредѣленія x, получимъ.

$$(Px+\pi c)\ \ T-\theta)=p\,(\theta+\theta'-t).$$

Когда изслѣдываемое вещество порошкообразное, какъ встрѣчаются нѣкоторые металлы и большая часть металлическихъ окисловъ, тогда въ немъ производятъ сцѣпленіе посредствомъ сжатія сопровождаемаго ударами, или же его намачиваютъ и мѣсятъ въ форму шариковъ, которые и обжигаютъ. Когда эти средства оказы-

ваются безуспѣшными, тогда это вещество уколачиваютъ въ маленькія трубки изъ весьма тонкой латуни въ 60^{mm} высоты и въ 15^{mm} въ діаметрѣ. При вычисленіи принимаютъ во вниманіе вещество этихъ трубокъ, теплоемкость котораго опредѣляютъ заранѣе. Въ этомъ случаѣ, по причинѣ дурной теплопроводности вещества, термометръ *t* употребляетъ отъ 10 до 15 минутъ для достиженія наибольшей своей высоты; тогда происходятъ большія неточности опыта, чѣмъ когда это время гораздо короче. Кромѣ-того, есть и другая причина ошибокъ: наибольшая температура, стоящая впродолженіи нѣсколькихъ минутъ, достигается тогда, когда сосудъ терпетъ чрезъ лучеиспусканіе столько теплоты, сколько онъ получаетъ отъ тѣла, что̀ показываетъ, что это послѣднее не имѣетъ совершенно той же температуры, какъ вода. Реньо̀ нашелъ способъ приближенно вычислять избытокъ температуры тѣлъ надъ тою, какую имѣетъ вода. Однако лучше погружать парообразное тѣло въ воду, хотя, при этомъ, отъ дѣйствія всасыванія, и отдѣляется теплота, что̀ мы послѣ и увидимъ; ошибка, которая отъ этого происходитъ, всегда очень мала.

Въ случаѣ капельныхъ жидкостей, ихъ заключаютъ въ маленькія трубки изъ тонкаго стекла, которыя при вычисленіи также принимаются во вниманіе; эти трубки, запаянныя на лампѣ, опускаются въ вышеописанную коробку.

Наконецъ когда тѣло растворимо въ водѣ, то воду замѣняютъ терпентинной эссенціей, теплоемкость которой заранѣе опредѣлена. Эту жидкость предпочитаютъ также для веществъ, которыя имѣются въ малыхъ количествахъ, потому-что ея теплоемкость гораздо менѣе чѣмъ воды.

Чтобы предъидущій способъ подвергнуть окончательной повѣркѣ, Реньо̀ его приложилъ къ измѣренію теплоемкости воды: изъ двухъ опытовъ, произведенныхъ надъ этою жидкостію при температурѣ 97°, онъ вывелъ для ея теплоемкости слѣдующія величины: 1,00709 и 1,00890, что̀ показываетъ, что, съ увеличеніемъ температуры, удѣльный теплородъ воды увеличивается и что этотъ способъ подверженъ весьма малымъ ошибкамъ.

Слѣдующая таблица заключаетъ главные результаты опытовъ Реньо̀ надъ простыми тѣлами:

Имена веществъ.	Удѣльный теплородъ С.	Принятый вѣсъ атомовъ р	Произведеніе С×р.	Имена веществъ.	Удѣльный теплородъ С.	Принятый вѣсъ атомовъ р.	Произведеніе С×р.
			Предварительныя опредѣленія				
Латунь.. ...	0,09391	»	»	Вода.....	1,0080	»	»
Стекло.....	0,19768	»	»	Терпентинная эссенція...	0,42593	»	»
			Простыя тѣла чистыя.				
Желѣзо.....	0,11379	339,21	38,597	Листовая платина.....	0,03243	1233,50	39,993
Цинкъ.....	0,09555	403,23	38,526				
Мѣдь.....	0,09515	395,70	37,849	Платина губчатая	0,03293	»	»
Кадмій.....	0,05669	696,77	39,502	Палладій....	0,05927	665,90	39,468
Серебро.....	0,05701	675,80	38,527	Золото.....	0,03244	1243,01	40,328
Мышьякъ....	0,08140	470,04	38,261	Сѣра.....	0,20259	201,17	40,754
Свинецъ . . .	0,03140	1294,50	40,647	Селенъ.....	0,0837	494,58	41,403
Висмутъ.....	0,03084	1330,37	45,034	Теллуръ.....	0,05155	801,76	41,549
Сурьма.....	0,0[illegible]077	806,45	40,944	Калій.....	0,16956	245,00	41,642
Остицское олово.....	0,0 623	735,29	41,345	Іодъ.....	0,05412	789,75	42,703
Никкель.....	0,10863	369,68	40,160	Уголь.... ..	0,24111	152,88	36,873
Кобальтъ ...	0,10696	368,99	39,468	Фосфоръ	0,1887	196,14	37,024
			Металлы съ малою примѣсью угля				
Уранъ.....	0,06190	677,84	41,960	Никкель плавленный...	0,11631	369,68	42,999
Тунгстенъ...	0,03636	1183,00	43,002				
Молибденъ...	0,07218	598,52	43,163	Кобальтъ (id)	0,11712	368,99	43,217
Никкель неплавленный	0,11192	369,68	41,376				
			Вещества нечистыя				
Иридій нечистый....	0,3683	1233,50	45,428	Марганецъ съ большою примѣсью угля..	0,14411	345,89	49,848
			Вещества капельножидкія.				
Ртуть	0,03332	1265,82	42,149	Бромъ жидк.	0,11094	»	»
Ртуть твердая	0,03241	»	»	Бромъ тверд. (—28°) . .	0,08432	489,1	41,2

Для опредѣленія теплоемкости калія, его охлаждали въ твердой углекислотѣ и находили на сколько онъ понижаетъ температуру нефтянаго масла, заключеннаго въ маленькій калориметръ *).

Подобный опытъ произведенный надъ свинцомъ, позволилъ найти отношеніе между теплоемкостями этихъ двухъ металловъ, откуда уже легко перейти къ теплоемкости калія относительно воды. Для опредѣленія теплоемкости ртути въ твердомъ состояніи, этотъ металлъ былъ заключенъ въ стеклянный пузырекъ, оканчивающійся длиннымъ стекляннымъ, на концѣ оттянутымъ, стержнемъ, посредствомъ котораго можно было его переносить и двигать въ калориметрѣ. Ртуть была заморожена въ твердой углекислотѣ,—при 77°,75,—потомъ была перенесена въ калориметръ, который ею былъ охлажденъ. Теплота, полученная ртутью отъ калориметра, состоитъ: 1) изъ той, которая необходима для нагрѣванія твердой ртути отъ—77° 77 до—40°; т.-е. до точки ея плавленія; 2) изъ теплоты, поглощенной ртутью, при переходѣ изъ твердаго состоянія въ жидкое; 3) изъ теплоты, поглощенной жидкою ртутью для перехода отъ этой точки плавленія до окончательной температуры калориметра; 4) изъ теплоты, поглощенной стекляннымъ пузырькомъ, при перемѣнѣ его температуры—77°,75 до окончательной температуры калориметра Считая извѣстнымъ количество теплоты необходимое для расплавленія ртути, равно какъ и удѣльный теплородъ жидкой ртути, легко вычислить количество теплоты поглощенное твердою ртутью при переходѣ отъ—77°,75 до—40°.

Подобнымъ способомъ былъ изученъ и бромъ, какъ въ твердомъ, такъ и въ жидкомъ состояніи; изслѣдованному же закону удовлетворяетъ онъ въ его твердомъ состояніи.

Изъ предъидущей таблицы слѣдуетъ, что теплоемкости законъ атомовъ долженъ быть принятъ, потому-что, при измѣненіи вѣса атома отъ 200 до 1400, произведеніе изъ этого вѣса и изъ теплоемкости измѣняется только отъ 38 до 42. Такое измѣненіе, безъ-сомнѣнія, гораздо значительнѣе чѣмъ то, которое могло бы проистекать отъ ошибокъ въ наблюденіи; но должно принять во вниманіе, что показанные удѣльные теплороды разныхъ тѣлъ измѣрены въ различныхъ разстояніяхъ отъ ихъ точекъ плавленія и что теплоемкость того же

*) Annales de chimie et de physique 2-e série, t. LXIV

тѣла увеличивается по мѣрѣ его приближенія къ такой точкѣ (204). Кромѣ-того, какъ мы видѣли (206), величина ея зависитъ отъ физическаго состоянія вещества и также отъ степени мягкости, пріобрѣтаемой нѣкоторыми тѣлами, когда ихъ нагрѣваютъ, и сопровождаемой поглощеніемъ теплоты, которая потомъ во время опыта выдѣляется. Наконецъ, къ теплотѣ, употребляемой для нагрѣванія тѣла и составляющей его настоящую теплоемкость, присоединяется та теплота, которую тѣло поглощаетъ для своего расширенія и которая для разныхъ тѣлъ различна; мы увидимъ, что въ газахъ ее можно измѣрить.

Между простыми тѣлами изученными Реньо, уранъ не удовлетворялъ разсматриваемому закону; это уклоненіе вызвало изслѣдованія Пелиго (Peligot), вслѣдствіе которыхъ дознано, что тѣло это не есть металлъ, но окиселъ, изъ котораго Пелиго отдѣлилъ настоящій металлъ, названный имъ ураніемъ. Серебро удовлетворяетъ закону только тогда, когда берутъ половину его атомическаго вѣса, принятаго химиками, а углеродъ — тогда, когда удваиваютъ вѣсъ его атома. Но Реньо, основываясь на законахъ химіи и кристаллографіи, представилъ убѣдительные доводы тому, чтобъ атомическіе вѣсы, удовлетворяющіе разсматриваемому закону, были предпочитаемы тѣмъ, которые выведены независимо отъ этого закона. Онъ показываетъ также, что вѣсъ атома калія, принятый химиками, вдвое болѣе настоящаго.

209. Законъ теплоемкостей атомовъ сложныхъ тѣлъ. — Для атомовъ сложныхъ тѣлъ также старались пріискать законъ подобный тому, который существуетъ для простыхъ тѣлъ. Авогадро *), въ своемъ замѣчательномъ сочиненіи объ удѣльныхъ теплородахъ сложныхъ твердыхъ и капельножидкихъ тѣлъ, объявилъ слѣдующій законъ. удѣльный теплородъ сложнаго тѣла, умноженный вѣсомъ его атома, равенъ постоянному числу 0 1875, умноженному на квадратный корень числа простыхъ атомовъ, изъ которыхъ онъ составленъ. Около того же времени, Ньюманъ (Newmann, измѣрилъ теплоемкость большаго числа минеральныхъ веществъ и изслѣдовалъ въ этомъ отношеніи нѣкоторыя углекислыя и сѣрнокислыя соли, основаніе которыхъ заключаетъ въ себѣ атомъ кислорода; для этихъ солей онъ нашелъ, что ихъ теплоемкость обратно пропорціональна

*) Annales de chimie et de physique, t. LXXI.

вѣсу ихъ атомовъ; это есть законъ Дюлонга и Пти, приложенный къ сложнымъ тѣламъ той же химической формулы

Реньо, приложивъ способъ смѣшеній (204) къ очень большому числу сложныхъ веществъ, нашелъ слѣдующіе законы:

1) *Удѣльный теплородъ сплавовъ, при довольно большомъ разстояніи отъ ихъ точки плавленія, есть совершенно точная средняя величина изъ удѣльныхъ теплородовъ составляющихъ металловъ*

Откуда слѣдуетъ, что теплоемкость сплава, умноженная на *его средній атомическій вѣсъ* (т.-е. на вѣсъ атома сплава, раздѣленный на число заключающихся въ немъ простыхъ атомовъ), есть число постоянное и приблизительно равное 41, что показываетъ, что каждый простой атомъ, входя въ составъ сплава, сохраняетъ свою теплоемкость. Произведеніе изъ теплоемкости на средній атомическій вѣсъ сплава оказывается слишкомъ большимъ, когда, при наибольшей температурѣ, показываемой во время опыта, этотъ сплавъ находится близко къ своей точкѣ плавленія Это происходитъ отъ того, что вслѣдствіе дѣйствія теплоты, онъ размягчается, или, что то же, сцѣпленіе въ немъ уменьшается и потому его теплоемкость увеличивается частію той теплоты, которая необходима для его расплавленія. Въ слѣдующей таблицѣ, сплавы этой категоріи помѣщены въ концѣ ея и отдѣлены отъ другихъ сплавовъ.

Составъ сплава.	Наблюдаемая теплоемкость с.	Вычисленная теплоемкость	Средній атомическій вѣсъ р.	Произведеніе р с.
1 атомъ свинца, 1 атомъ олова . .	0,04073	0,04039	1014,9	41,34
1 id + 2 ат. олова . .	0.04500	0,04461	921,5	41,53
1 id 1 ат. сурьмы .	0,03880	0,03883	1050,5	40,76
1 атомъ висмута, 1 атомъ олова. .	0,04000	0,04987	1032,8	41,31
1 id. 2 ат. олова	0,04504	0,04415	933,7	42,05
1 ат. висмута, 2 ат. олова, 1 ат. сурьмы	0,04621	0,04564	901,8	41,67
1 ат. висм., 2 ат. олова, 1 ат. сюр. 2 ат. цин.	0,05657	0,05479	735,6	41,61
1 ат. свинц., 2 ат. олов., 1 ат. висмута	0,04476	0,04012	1023,9	45,83
1 id., 2 id, 2 id. . .	0,06082	0,03785	1085,2	66,00
1 атомъ ртути, 1 атомъ олова . . .	0,07294	0,04172	1000,5	72,97
1 id. 2 id	0,06591	0,04563	912,1	60,12
1 id 1 ат. свинца . .	0,03827	0,03234	1280,1	48,99

2) *Во всѣхъ сложныхъ тѣлахъ, имѣющихъ одинаковый атомическій и подобный химическій составы, удѣльные теплороды обратно пропорціональны вѣсамъ атомовъ.*

Тѣлами подобнаго химическаго состава мы считаемъ тѣ, атомы которыхъ составлены изъ того же числа простыхъ атомовъ каждаго рода, хотя и не одинаковыхъ; напримѣръ тѣла: RO и SO; также RO^2 и SO^2....., въ которыхъ R есть атомъ металла, O атомъ кислорода и S — атомъ сѣры. Въ отношеніе къ этому общему закону, законъ Дюлонга и Пти, и законъ Ньюмана суть только частные его случаи. Повѣряется онъ въ тѣхъ же предѣлахъ, какъ и законъ для простыхъ тѣлъ; уклоненія, обнаруживаемыя въ результатахъ, не превышаютъ $\frac{1}{10}$ или самое большое $\frac{1}{9}$; онѣ происходятъ отъ причинъ, уже означенныхъ при разборѣ перваго закона. Сверхъ-того, произведенія изъ теплоемкостей на вѣсы атомовъ тѣмъ ближе къ взаимному равенству, чѣмъ ближе сравниваемыя вещества къ совершенному *изоморфизму*, т.-е. чѣмъ болѣе сходства въ формахъ, въ которыхъ онѣ кристаллизуются Но при разныхъ температурахъ кристаллическая форма можетъ быть различная. Окись цинка и окись алюминія даютъ результаты, несогласные съ разсматриваемымъ закономъ; но это легко объясняется: мы видѣли, что увеличеніе сцѣпленія между частицами тѣла уменьшаетъ его теплоемкость; упомянутыя же окиси, когда ихъ пережигаютъ, увеличиваются въ своей плотности и, мало этого, онѣ тогда освобождаютъ теплоту, такъ что дѣлаются раскаленными, что̀ объясняется уменьшеніемъ, которому тогда подвергается ихъ теплоемкость; отсюда же слѣдуетъ выходъ нѣкотораго количества заключающейся въ нихъ теплоты. Въ то же время химическія свойства этихъ окисей измѣняются, ибо онѣ становятся трудно растворимыми въ кислотахъ. Мягкая сѣра, получаемая чрезъ вливаніе сѣры, при 250° около, въ холодную воду, обнаруживаетъ подобное же выдѣленіе теплоты, когда ей даютъ температуру около 90° Реньо̀ видѣлъ, что термометръ коробочки P (фиг. 128) поднялся до 110° и въ то же время мягкая сѣра быстро приняла свою обыкновенную твердость и вообще обыкновенное состояніе, что̀ достигается только чрезъ нѣсколько дней, если сѣра предоставлена самой себѣ. Отсюда слѣдуетъ, что мягкая сѣра имѣетъ удѣльный теплородъ бо̀льшій чѣмъ сѣра обыкновенная, чему не должно удивляться послѣ того, что̀ мы сказали о разныхъ теплоемкостяхъ, которыя сѣра можетъ имѣть (206). Итакъ видимъ, что отношеніе между вѣсомъ атома и удѣльнымъ теплородомъ тѣла, зависитъ отъ

разныхъ другихъ измѣняющихся обстоятельствъ, которыя, къ-счастію будучи весьма слабыми, не помѣшали разсматриваемому закону ясно обнаружиться. Слѣдующая таблица доказываетъ этотъ законъ, заключая въ себѣ большое число результатовъ найденныхъ Реньо:

Имена веществъ.	Удѣльный теплородъ c.	Принятый атомическій вѣсъ p.	Произведеніе p × c.
Окислы RO.			
Плавленная закись свинца	0,05089	1394,5	70,94
Окись ртути	0,05179	1365,8	70,74
Закись марганца	0,15701	445,9	70,01
Окись мѣди .	0,14201	405,7	70,39
Обожженная закись никкеля.	0,15885	469,6	74,60
Магнезія . .	0,24394	258,4	63,03
Окись цинка.	0,12480	503,2	62,77
Окислы R^2O^3.			
Окись желѣза или желѣзный блескъ	0,16695	978,4	163,35
Мышьяковистая кислота.	0,12786	1240,1	158,56
Окись хромія.	0,17960	1003,6	180,01
Окись висмут.	0,06053	2960,7	179,22
Окись сурьмы.	0,09009	1912,9	172,34
Глиноземъ (корундъ) . .	0,9762	642,4	126,87
Глиноземъ (сапфиръ). . .	0,21732	642,4	139,61
Окислы RO^2.			
Оловянная окись	0,09326	935,3	87,23
Титановая кислота (иск.)	0,17164	503,7	86,45
Титановая кисл. (рутилъ).	0,17032	503,7	85,79
Сурмянистая кислота . . .	0,09535	1006,5	95,92
Окислы RO^3.			
Вольфрамовая кислота	0,07983	1483,2	118,38
Молибденовая кислота	0,13240	898,5	118,96
Кремневая кислота	0,19132	577,5	110,48
Борная кисл.	0,23743	436,0	103,52
Сѣрнистые металлы RS.			
Односѣрнистое желѣзо.	0,13570	540,4	73,33
Сѣрнистый никкель . . .	0,12813	50,8	73,15
Сѣрнистый кобальтъ . .	0,12512	570,0	71,34
Сѣрнистый цинкъ	0,12303	604,4	74,35
Сѣрнистый свинецъ . . .	0,05086	1495,6	76,00
Сѣрнистая ртуть	0,05117	936,5	75,06

Имена веществъ	Удѣльный теплородъ с.	Принятый атомическій вѣсъ р.	Произведеніе р × с.
Односѣрнистое олово .	0,08375	936,5	78,34
Сѣрнистые металлы R^2S^3.			
Сѣрнистая сурьма. . . .	0,08403	2216,4	186,21
Сѣрнистый висмутъ . .	0,05002	3264,2	195,90
Сѣрнистые металлы RS^2.			
Желѣзный колчеданъ . .	0,13009	741,6	96,45
Двусѣрнистое олово .	0 11932	1137,7	135,66
Сѣрнистый молибденъ . .	0,12334	1001,0	123,46
Сѣрнистые металлы R^2S.			
Сѣрнистая мѣдь	0,12118	992,0	120,21
Сѣрнистое серебро. . : .	0,07460	1553,0	115,86
Хлористые металлы R^2Cl^2.			
Хлористый натрій	0,21401	733,5	156,97
Хлористый калій.	0,17295	932,5	161,19
Хлористая ртуть	0,05205	2974,2	154,80
Хлористая мѣдь	0,13827	1234,0	156,83
Хлористое серебро . . .	0,09109	1794,2	163,42
Хлористые металлы RCl^2.			
Хлористый барій.	0,08957	1299,5	116,44
Хлористый стронцій . .	0,11990	989,9	118,70
Хлористый кальцій. . .	0,16420	698,6	114,72
Хлористый магній. . . .	0,19460	601,0	118,54
Хлористый свинецъ. . .	0,06641	1737,1	115,35
Двухлористая ртуть . .	0,06889	1708,4	117,68
Хлористый цинкъ. .	0,13618	845,8	115,21
Одвохлористое олово	0,10161	1177,9	119,59
Хлористая магнезія. . .	0,14255	788,5	112,51
Летучія хлористыя соединенія RCl^4.			
Хлористое олово	0,14759	1620,5	239,18
Хлористый титаній . . .	0,19145	1188,9	227,63
Летучія хлористыя соединенія R^2Cl^3.			
Хлористый мышьякъ. . .	0,17604	2267,8	339,26
Хлористый фосфоръ. . .	0,20922	1720,1	359,86
Бромистыя соединенія R^2Br^2.			
Бром. калій .	0,11322	1468,2	166,21
— серебро	0,07391	2330,0	173,31
— натрій .	0,13842	1269,2	175,75

Имена веществъ.	Удѣльный теплородъ с.	Принятый атомическій вѣсъ р.	Произведеніе р×с.
Іодистыя соединенія R^2I^2.			
Іодист. калій.	0,08191	268,2	164,38
— натрій.	0,08084	1866,2	162,30
Одноіод. ртуть	0,03949	4109,3	162,34
Іодист. сереб.	0,06159	2929,9	180,45
Одноіод. мѣдь	0,06869	2369,7	162,81
Іодистыя соединенія RI^2.			
Іодистый свинецъ.	0,04267	2872,8	122,54
Двуіодист. ртуть.	0,04197	2844,1	119,36
СОЛИ.			
Азотнокислыя соли A^2O^5,R^2O.			
Азотнокислое кали	0,23875	1266,9	302,49
Азотнокисл. натръ . . .	0,27821	1067,9	297,13
Азотнокислое серебро . . .	0,14352	2128,6	305,55
Фосфорнокислыя соли $P^2O^5,2R^2O$ pyrophosphates.			
Фосфорнок. кали	0,19102	2072,1	395,79
Фосф. натръ.	0,22833	1674,1	382,22
Сѣрнокислыя соли SO^3,R^2O.			
Сѣрнок. кали.	0,19010	1091,1	207,40
— натръ.	0,23115	892,1	206,21
Сѣрнокислыя соли SO^3,RO.			
Сѣрнокислый баритъ . . .	0,11285	1458,1	164,54
Сѣрнокислый стронціанъ.	0,14279	1148,5	164,01
Сѣрнокислый свинецъ . . .	0,08723	1895,7	165,39
Сѣрнокислая известь . . .	0,19656	857,2	168,49
Сѣрнокислая магнезія. . .	0,22159	759,5	168,30
Борнокислыя соли B^2O^6,R^2O.			
Борнок. кали	0,21975	1461,9	321,27
— натръ.	0,23823	1262,9	300,88
Борнокислыя соли $B^2O^6,2R^2O$.			
Борнок. кали	0,20478	1025,9	210,52
— натръ.	0,25709	826,9	212,60
Углекислыя соли CO^2,R^2O.			
Углекис. кали	0,21623	865,0	187,04
— натръ	0,27275	866,0	181,65
Углекислыя соли CO^2,R^2O.			
Углекис. известь (Исланд. шпатъ	0,20858	631,0	131,61
Аррагонитъ .	0,20850	631,0	131,56
Мраморъ сахаровидный.	0,21585	631,0	136,20
Мрам. сѣрый.	0,20989	631,0	132,45
— бѣлый.	0,21485	631,0	135,57
Углек. баритъ.	0,11038	1231,9	135,90
— стронц.	0,14483	922,3	133,58
— окись			
— желѣзо	0,19345	714,2	138,16

210. Объясненіе закона атомическихъ теплоемкостей сложныхъ тѣлъ. — Уэстинъ (Woestyn) сдѣлалъ слѣдующее важное примѣчаніе относительно удѣльнаго теплорода сложныхъ тѣлъ *): при химическомъ соединеніи простыхъ атомовъ, служащихъ для образованія сложнаго атома, удѣльные теплороды ихъ не мѣняются. Дѣйствительно, удѣльный теплородъ сложнаго атома равенъ суммѣ удѣльныхъ теплородовъ составляющихъ его простыхъ атомовъ; такъ что, если означимъ чрезъ P, p, p', p'',... атомическіе вѣсы всѣхъ этихъ атомовъ, чрезъ C, c, c', c'', удѣльные теплороды соотвѣтствующихъ веществъ, и чрезъ n, n', n'',..... число простыхъ атомовъ входящихъ въ составъ сложнаго атома, то получимъ:

$$PC = npc + n'p'c' + n''p''c'' + \ldots$$

Эта формула повѣряется въ тѣхъ же предѣлахъ, какъ и законъ теплоемкостей атомовъ. Когда сложныя тѣла заключаютъ въ себѣ вещества, теплоемкость которыхъ не была наблюдаема, тогда чрезъ сложеніе и вычитаніе соединяютъ атомическія формулы разныхъ составовъ, равно какъ и соотвѣтствующія произведенія и находятъ, что при одинаковыхъ окончательныхъ формулахъ, результаты получаются тѣ же.

Отсюда можно было бы заключить, что если тѣла одинаковой атомической формулы даютъ почти одинаковое произведеніе, то это только одна случайность, происходящая отъ того, что произведенія соотвѣтствующія простымъ тѣламъ одинаковы; но замѣчаютъ, какъ это и можно было предвидѣть, что простыя тѣла, для которыхъ произведенія самыя большія, входя въ составъ сложныхъ тѣлъ, сообщаютъ имъ то, что соотвѣтствующія имъ произведенія оказываются также большими, чѣмъ въ другихъ сложныхъ тѣлахъ подобной формулы; къ такимъ простымъ тѣламъ принадлежатъ ртуть и висмутъ.

Относительно разсматриваемаго закона, Гарнье (Garnier) сдѣлалъ другое примѣчаніе, которое инымъ образомъ объясняетъ этотъ законъ: онъ нашелъ, что *удѣльные теплороды всѣхъ тѣлъ, простыхъ и сложныхъ, обратно пропорціональны среднимъ вѣсамъ ихъ атомовъ;* такъ, средній вѣсъ атома воды, состоящей изъ двухъ атомовъ водорода и одного атома кислорода, равенъ $\frac{1}{3}$ 112, 5 = 37, 5, а бу-

*) Annales de chimie et de physique, 3-e série, t. XXIII.

дучи умноженъ на удѣльный ея теплородъ, т.-е. на 1, доставляетъ тоже число 37,5, какъ и для простыхъ тѣлъ. Гарньѐ, разсматривая разные двойные составы, теплоемкость которыхъ опредѣлена Реньо, постоянно находилъ почти то же число 37,5 для произведенія изъ теплоемкости на средній вѣсъ атома; число же это то же какъ и для простыхъ тѣлъ. Разности, найденныя Реньо въ величинахъ произведеній, при переходѣ отъ одного класса сложныхъ тѣлъ къ другому, происходятъ отъ того, что число простыхъ атомовъ не одно и то же. Итакъ мы снова видимъ, что простые атомы, входя въ химическія соединенія, сохраняютъ свою теплоемкость. Кали и натръ только тогда удовлетворяютъ разсматриваемому закону, когда для средняго ихъ атомическаго вѣса, берутъ абсолютный вѣсъ атома раздѣленный на 3, что предполагаетъ, что эти тѣла состоятъ изъ двухъ атомовъ металла и одного атома кислорода, и это согласно съ заключеніемъ выведеннымъ Реньо изъ теплоемкости атома этихъ металловъ (208). Вотъ нѣкоторые изъ результатовъ, вычисленныхъ Гарньо

Вещества.	Средній атомическій вѣсъ р.	Удѣльный теплородъ с.	Произведеніе р × с.	Вещества.	Средній атомическій вѣсъ р.	Удѣльный теплородъ с.	Произведеніе р × с.
RO — Окись свинца . . .	697	0,051	43,55	R^2Cl^2 — хлористая ртуть. . .	736	0,052	38,27
R^2O^3—Окись хрома	201	0,175	35,98	RCl^2 — свинецъ.	579	0,066	38,21
RS—Сѣрнист. свинецъ. . . .	747	0,050	37,35	RBr^2 — бромистый свинецъ.	757	0,053	40,12
R^2S^3 — сурьма.	443	0,084	37,21	R^2I — 1одистая ртуть.	1021	0,039	39,81
R^2S —серебро.	517	0,074	38,25	RI^2 — 1одистая ртуть.	945	0,041	38,74

Тройныя соединенія, соли, кажется не удовлетворяютъ этому закону, или, если они къ нему и приближаются, то издалека. Не оттого ли это, что въ этихъ соединеніяхъ атомы не сохраняютъ той теплоемкости, какую имѣютъ тогда, когда они существуютъ отдѣльно? или можетъ быть причины, маскирующія законъ, заключаются въ не-

точностяхъ способа измѣренія, происходящихъ отъ того, что не всегда возможно совершенно изгнать воду, которую въ себѣ заключаютъ многія соли? При настоящемъ состояніи науки это трудно рѣшить.

Разсматриваемый законъ есть слѣдствіе найденнаго Уэстономъ, потому-что формула

$$PC = npc + n'p'c' + n''p''c'' + \ldots$$

даетъ

$$\frac{PC}{n + n' + n'' + \ldots} = pc,$$

такъ-какъ, по закону Дюлонга и Пти, произведенія pc, $p'c'$, $p''c''$, ... равны между собою. Первая же часть этого уравненія есть ни что иное какъ произведеніе изъ удѣльнаго теплорода тѣла на средній его атомическій вѣсъ, потому-что $n + n' + n'' + \ldots$ представляетъ число всѣхъ составляющихъ простыхъ атомовъ.

Наконецъ, результатъ найденный Гарпьѐ можетъ служить доказательствомъ того, что равные объемы простыхъ газовъ, при томъ же давленіи и той же температурѣ, заключаютъ одинакое число атомовъ (192). Въ-самомъ-дѣлѣ, разбираемый законъ удовлетворяется тогда только, когда принимаютъ, что, для составленія сложнаго атома, простые атомы входятъ въ такихъ числахъ, которыя относятся между собою, какъ объемы химически соединяющихся газовъ. Такимъ-образомъ, чтобы средній атомическій вѣсъ воды удовлетворялъ этому закону, надобно принять, что ея атомъ состоитъ изъ двухъ атомовъ водорода и одного—кислорода; извѣстно же, что она образуется соединеніемъ двухъ объемовъ водорода и одного объема кислорода. Вотъ новое и неожиданное доказательство наиболѣе важныхъ началъ химіи.

211. Теплоемкость капельныхъ жидкостей — Изъисканіе законовъ, относящихся къ удѣльнымъ теплородамъ, для жидкостей, гораздо труднѣе, чѣмъ для твердыхъ тѣлъ, потому-что, съ измѣненіемъ температуры, теплоемкость капельныхъ тѣлъ быстро измѣняется, такъ что не знаютъ, при какой температурѣ ихъ сравнивать. Реньо́, употребляя способъ охлажденія (202), измѣрилъ теплоемкость различныхъ жидкостей въ чистомъ ихъ видѣ. Быстрое увеличеніе ихъ теплоемкости съ температурою легко усматривается изъ слѣдующей таблицы:

Имена капельныхъ жидкостей	Удѣльные теплороды.			Имена капельныхъ жидкостей.	Удѣльные теплороды.		
	отъ 20 до 15.	отъ 15 до 10.	отъ 10 до 5.		отъ 20 до 15.	отъ 15 до 10.	отъ 10 до 5.
Ртуть	0,0290	0,0283	0,0282	Хлор. бромин .	0,1904	0,1904	0,1914
Растворъ хлористаго кальція.	0,6462	0,6389	0,6423	— титанія.	0,1828	0,1802	0,1810
Спиртъ при 36°	0,6725	0,6651	0,6588	Однохлорный фосфоръ . . .	0,1991	0,1987	0,2017
Уксусная кислота	0,6589	0,6577	0,6609	Хлор истая сѣра.	0,2038	0,2024	0,2048
Она же, но кристаллизующаяся.	0,4618	0,4509	0,4587	Хлорист. углеродъ.	0,2206	0,2183	0,2179
Скипидаръ . .	0,4267	0,4156	0,4154	Эѳиръ сѣрнокисл.	0,5157	0,5158	0,5207
Лимонная эссенція	0,4501	0,4424	0,4489	Сѣрнистый . .	0,4772	0,4653	0,4715
Нефть	0,4342	0,4325	0,4321	Іодистый	0,1584	0,1584	0,1587
Бензинъ	0,3932	0,3865	0,3999	Бромистый . .	0,2153	0,2135	0,2164
Нитробензолъ .	0,3499	0,3478	0,3524	Щавелокислый	0,4554	0,4521	0,4629
Однохлорное олово.	0,1416	0,1402	0,1421	Древесн. спиртъ.	0,6009	0,5868	0,5901

Удѣльный теплородъ воды, съ измѣненіемъ температуры, увеличивается гораздо менѣе, чѣмъ у другихъ жидкостей — весьма счастливое обстоятельство для измѣренія теплоемкостей по способу смѣшеній. Если теплоемкость воды между 0° и 30° выразимъ числомъ 1000, то между 30° и 110° она выразится числомъ близкимъ къ 1005. Пока не переходятъ далѣе 100°, ея увеличеніе ничтожно, но далѣе оно болѣе замѣтно. Между 30° и 190° теплоемкость воды почти равна 1015. Мы потомъ объяснимъ, какими средствами Реньо могъ испытывать воду при такой возвышенной температурѣ.

§ 2. — Удѣльный теплородъ газовъ.

212. Простота законовъ, обнаруживаемыхъ при сравненіи объемовъ газовъ, естественно побуждаетъ насъ относить теплоемкость

газа не къ его массѣ, а къ объему; такъ что удѣльнымъ теплородомъ газа, при нѣкоторомъ давленіи, называютъ количество теплоты, поглощаемое единицею его объема при возвышеніи его температуры на 1°. Открытіе закона теплоемкостей атомовъ доставило еще бо́льшую важность такому способу разсматриванія удѣльнаго теплорода газовъ. Впрочемъ, зная количество Q теплоты, поглощаемой единицею объема газа, при возвышеніи его температуры на 1°, всегда легко вывести количество c, которое было бы поглощено единицею вѣса этого газа. Въ-самомъ-дѣлѣ, если d представляетъ плотность газа, поглощающаго количество теплоты q, то объемъ, вѣсъ котораго равенъ единицѣ, будетъ $v = \frac{1}{d}$, и потому $c = \frac{q}{d}$.

Удѣльный теплородъ при постоянномъ объемѣ и при постоянномъ давленіи. Удѣльные теплороды газовъ, отнесенные къ объемамъ, разсматриваются двояко: или въ томъ случаѣ, когда нагрѣваемый газъ можетъ свободно расширяться, сохраняя свое давленіе и когда поэтому его теплоемкость называютъ *удѣльнымъ теплородомъ при постоянномъ давленіи,* или же въ томъ случаѣ, когда, будучи нагрѣваемъ, газъ не имѣетъ возможности расшириться, такъ что, сохраняя свой объемъ, увеличиваетъ свою упругость, и теплоемкость его при этомъ называется *удѣльнымъ теплородомъ при постоянномъ объемѣ.* Первая изъ теплоемкостей превышаетъ вторую всѣмъ количествомъ теплоты, необходимымъ для того, чтобы произвесть расширеніе газа, количествомъ, которое газъ не поглощаетъ, если его объемъ не мѣняется. Удѣльный теплородъ при постоянномъ давленіи измѣряется непосредственно; другой же удѣльный теплородъ изъ него выводится разными способами, которые мы ниже опишемъ.

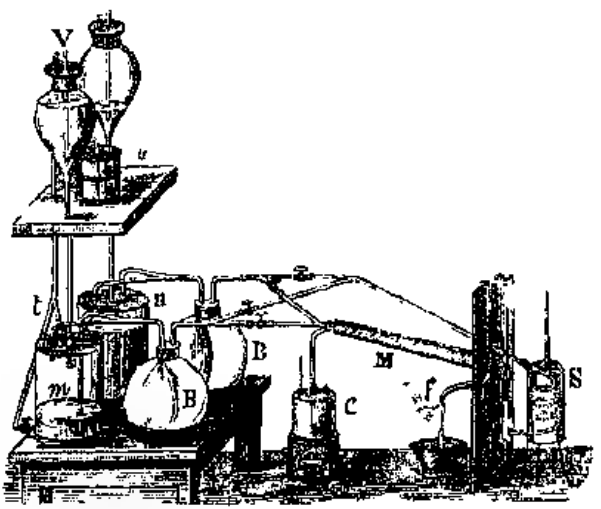
Въ прошедшемъ вѣкѣ, надъ теплоемкостью газовъ было произведено множество опытовъ. Лапласъ и Лавуазьѐ, въ 1784 году, употребляли для этого свой калориметръ, извѣстный объемъ теплаго газа они пропускали медленно въ змѣеобразную трубу, окруженную льдомъ и измѣряли количество растаявшаго льда. Они испытывали только воздухъ и кислородъ. Кроуфортъ, въ 1788 году, дѣйствовалъ по способу смѣшеній, въ весьма малую массу воды онъ погружалъ сосудъ изъ тонкой мѣди, доведенный до температуры 100° и наполненный газомъ; но масса его была слишкомъ мала, чтобы можно было достигнуть даже приближенныхъ результатовъ. Лесли пользовался для этого нагрѣваніемъ, которое обнаруживаетъ разрѣженный воз-

духъ, когда какой-нибудь газъ, быстро вступая въ занятое имъ пространство, сжимаетъ его. Гэ-Люссакъ впускалъ воздухъ и другой газъ при разныхъ температурахъ въ тотъ же приемникъ и находилъ отношеніе между теплоемкостями этихъ газовъ, употребляя вычисленіе, которому слѣдуютъ въ способѣ смѣшеній. Дальтонъ, Клементъ (Clément) и Дезормъ (Désormes), Гайкрафтъ (Hayecraft), Дюлонгъ публиковали свои работы по тому же предмету

213. Опыты Делароша (Delaroche) **и Берара** (Bérard) — Работа этихъ двухъ отличныхъ физиковъ, публикованная въ 1812 году и награжденная Академіею Наукъ въ Парижѣ, есть самая полная и самая точная изъ всѣхъ, которыя произведены были до работъ Реньо. Газъ, теплоемкость котораго они желали опредѣлить, шелъ съ постоянною скоростію по змѣеобразной трубѣ, окруженной водою, которой онъ уступалъ часть своей теплоты. Онъ вступалъ въ трубу при извѣстной температурѣ; протяженность же трубы была достаточно велика, для того, чтобы онъ выходилъ изъ нее, имѣя температуру воды.

Фиг. 129-я представляетъ приборъ, придуманный для этихъ опы-

фиг. 129.



товъ. Калориметръ S, заключающій въ себѣ змѣеобразную сплюснутую трубку, помѣщенъ на подставѣ, достаточно тонкой для того, чтобы поглощаемая ею теплота была неощутительна Постоянное истеченіе газа получается слѣдующимъ способомъ. газъ этотъ содержится въ пузыряхъ, которые сами заключены въ два ша-

ра B и B' въ 40 литровъ въ объемѣ *). Шары сообщаются порознь съ резервуарами m и n, которые наполнены воздухомъ и въ которые можно, съ постоянною скоростью, впускать воду посредствомъ двухъ Маріотовыхъ сосудовъ V Сообщеніе это устроивается посредствомъ трубокъ, раздѣляющихся каждая на двѣ вѣтви, снабженныя кранами, одна изъ вѣтвей достигаетъ до дна резервуара m, n. Пузыри могутъ быть приведены въ сообщеніе, какъ съ верхнимъ, такъ и съ нижнимъ отверстіемъ змѣеобразной трубы S, посредствомъ системы трубокъ съ кранами, изъ которыхъ одни закрыты, когда другіе открыты. Когда пузырь B наполненъ газомъ, тогда приводятъ въ дѣйствіе Маріотовъ сосудъ, находящійся на той же съ нимъ сторонѣ; давимый газъ проходитъ по трубкамъ M, r и вступаетъ снизу въ змѣеобразную трубу; краны необходимые для такого сообщенія открыты, между-тѣмъ какъ остальные закрыты. Выйдя изъ верхняго отверстія этой трубы, газъ входитъ въ пузырь шара B', раздуваетъ его и тѣмъ гонитъ воздухъ въ резервуаръ n, сквозь находящуюся въ немъ воду; въ то же время онъ давитъ на эту жидкость, которая вступаетъ въ трубку t и по ней идетъ въ сосудъ v. Столбъ воды, заключенной въ трубкѣ t, уравновѣшивается давленіемъ водянаго столба въ Маріотовомъ сосудѣ, такъ-что равномѣрность теченія газа, проходящаго по змѣеобразной трубѣ, не измѣнена тѣмъ, что онъ вступаетъ въ пузырь шара B' и во время этого движенія давленіе газа равно давленію атмосферы, увеличенному водянымъ столбомъ t. Когда этотъ пузырь наполнится, тогда закрываютъ краны, которые были отперты, а другіе отворяютъ; приводятъ въ дѣйствіе Маріотовъ сосудъ, находящійся по ту же сторону съ шаромъ B', отъ этого газъ выдавливается изъ пузыря этого шара и, пройдя по одной изъ трубокъ, пересѣкающихся въ срединѣ фигуры, вступаетъ въ M, потомъ въ r, откуда въ змѣеобразную трубу, изъ которой, по другой пересѣкающейся трубкѣ, входитъ въ пузырь шара B Въ то же время вода резервуара m поднимается въ сосудъ v. Между-тѣмъ наполняютъ водою недѣйствующій Маріотовъ сосудъ Такимъ-образомъ, заставляя попеременно и почти безпрерывно дѣйствовать Маріотовы сосуды, можно

---

*) На рисункѣ пузыри представлены сообщающимися съ соотвѣтствующими трубками, проникающими въ шаръ съ лѣвой стороны; но это по ошибкѣ, они должны быть приставлены къ трубкамъ съ правой стороны, которыя идутъ къ калориметру S.

получить постоянный токъ газа въ змѣеобразной трубѣ, втеченіи столь долгаго времени, какъ только пожелаютъ. Газъ нагрѣвается при прохожденіи муфты *M*, чрезъ которую пропускаютъ водяные пары, идущіе изъ маленькаго котелка *c* и выходящіе по трубѣ *f*. Температура газа показывается термометромъ, помѣщеннымъ въ трубкѣ *r*, лежащей на пути обращенія газа *). Кромѣ-того калориметръ *S* помѣщается въ особой комнатѣ и его трубки проходятъ чрезъ дверь. Остальная часть прибора расположена въ смежной комнатѣ. Удѣльный теплородъ газовъ отъ влажности нѣсколько измѣняется потому-что водяной паръ не имѣетъ той же теплоемкости, какъ газъ. Притомъ, вслѣдствіе проводимости трубки *r* и лучеиспусканія теплоты отъ оконечности трубки *M*, газъ уступаетъ нѣкоторое количество своей теплоты калориметру. Дѣлая трубку *r* изъ стекла и располагая приличные экраны, почти совершенно уничтожаютъ ошибку.

214. Удѣльный теплородъ газовъ относительно воздуха. Для того, чтобъ найти отношеніе между удѣльными теплородами разныхъ газовъ, Деларошъ и Берарь пропускали газъ, съ постоянною скоростію, по змѣеобразной трубкѣ до-тѣхъ-поръ, пока температура калориметра не сдѣлалась постоянною, что непремѣнно происходитъ по прошествіи нѣкотораго времени; потому-что, съ увеличеніемъ температуры калориметра, потеря теплоты внаружу увеличивается, между-тѣмъ какъ теплота, въ то же время теряемая газомъ, уменьшается такъ, что будетъ моментъ, когда количество теплоты, уступаемое газомъ, окажется равнымъ тому, которое теряется калориметромъ. Эта постоянная и окончательная температура показывается термометромъ, резервуаръ котораго занимаетъ всю глубину ванны; притомъ такъ-какъ нагрѣтый газъ входитъ снизу, то нижніе слои воды, какъ болѣе теплые, текутъ вверхъ и отъ этого вода перемѣшивается. Чтобы сократить продолжительность опытовъ, нагрѣваютъ калориметръ, посредствомъ спиртовой лампы, почти до той тем-

---

*) Температура газа всегда нѣсколько болѣе той, которую показываетъ этотъ термометръ, потому-что сей послѣдній лучеиспускаетъ теплоту въ окружающей его трубкѣ, которая охлаждается отъ прикосновенія съ наружнымъ воздухомъ; но какъ, съ другой стороны, тотъ же газъ не имѣетъ столь возвышенной температуры, какъ паръ трубки M, то считаютъ, что средняя температура между тою, какую имѣетъ кипящая вода и тою, какую показываетъ термометръ *r*, выражаетъ собою температуру газа при его входѣ въ змѣеобразную трубу.

пературы, на которой онъ долженъ остановиться. Такъ-какъ показанія термометра измѣняются весьма медленно около наибольшей температуры, то ихъ наблюдаютъ чрезъ каждыя 10^{mm}, и когда перемѣны въ нихъ сдѣлаются чрезвычайно малыми, тогда подогрѣваютъ калориметръ до того, чтобъ его температура сдѣлалась выше наибольшей и потомъ наблюдаютъ ходъ его охлажденія; опытъ оканчиваютъ тогда, когда показанія термометра опять начнутъ чрезвычайно медленно измѣняться. Для полученія этой наибольшей, т.-е. установившейся температуры, берутъ среднюю величину между двумя самыми близкими къ ней показаніями термометра. Подобный опытъ былъ потомъ сдѣланъ и надъ другимъ газомъ и тогда, по Ньютонову закону, который здѣсь можетъ быть приложенъ, опредѣляли отношеніе между теплоемкостями двухъ газовъ, принимая, что количества теплоты уступленныя ими калориметру въ единицу времени, которыя равны потерянымъ, относятся между собою какъ избытки температуры надъ окружающимъ воздухомъ; такъ что, если T есть температура газа, при входѣ его въ змѣеобразную трубку, x его теплоемкость, v скорость или объемъ газа вступающій втеченіи единицы времени; θ окончательная температура калориметра; T', x', v', θ' соотвѣтствующія величины для другаго газа и наконецъ t, t' температуры окружающаго воздуха, то получимъ

$$vx\,(T-\theta) : v'\,x'\,(T'-\theta') = (\theta - t) : (\theta' - t'),$$

откуда найдется отношеніе $x : x'$.

Деларошъ и Берарь употребляли и другой способъ, по которому опредѣлялось, какой объемъ каждаго газа необходимъ для того, чтобы при тѣхъ же обстоятельствахъ возвысить температуру калориметра на то же данное количество; отношеніе между теплоемкостями газовъ выражалось обратнымъ отношеніемъ между найденными объемами. Чтобъ устранить ошибки, происходящія отъ потери теплоты калориметра, былъ употребленъ способъ компенсаціи Румфорта (200) и для этого калориметру была дана температура ниже той, какую имѣлъ окружающій воздухъ.

215. Теплоемкость газовъ относительно воды. Двумя предъидущими способами опредѣляется отношеніе между теплоемкостями газа и воздуха; чтобъ получить теплоемкость газа относительно той, какую имѣетъ вода и которая принята за единицу, остается найти

удѣльный теплородъ воздуха въ отношеніи къ водѣ. Деларошъ и Бераръ употребили для этого три разныхъ способа.

По первому способу вычисляютъ количество теплоты Q, теряемое калориметромъ, втеченіи одной минуты, когда температура его остается постоянною, и приравниваютъ его количеству теплоты $vx\ (T-\theta)$, которое воздухъ въ то же самое время уступаетъ калориметру; изъ полученнаго такимъ-образомъ уравненія выводятъ величину x

Чтобъ опредѣлить величину Q, положимъ, что послѣ прекращенія струи воздуха приборъ начинаетъ охлаждаться и что V скорость его охлажденія, т.-е. понижение температуры втеченіи одной минуты, принимая потерю теплоты равномѣрною въ этотъ промежутокъ времени. Если P есть вѣсъ воды, увеличенный эквивалентомъ, по водѣ, теплоты металлическихъ массъ калориметра, то количество теплоты, потерянное приборомъ втеченіи одной минуты, будетъ $Q=PV$.

Остается вычислить количество V Для этого наблюдаютъ понижение температуры впродолженіи m минутъ, начиная отъ того момента, когда температура калориметра становилась постоянною на t° выше окружающей и когда остановлена струя газа. По прошествіи m минутъ, избытокъ температуры t' будетъ (67) $t' = ta^m$,

откуда (α) $$Log.\,a = \frac{1}{m}\,Log.\,\frac{t'}{t}\,.$$

Дифференцируя получимъ $$V = \frac{dt}{dm} = t\ Log.\ a.$$

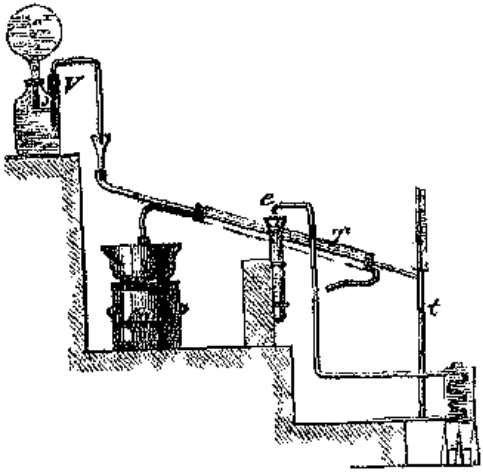
Постоянная величина $Log.\ a$ опредѣляется помощію уравненія (α), въ которомъ t', t и m извѣстны изъ наблюденій; такимъ-образомъ теплоемкость воздуха найдется изъ уравненія: $vx\ (T-\theta) = t\ Log.\ a.$

Тотъ же способъ можетъ служить для непосредственнаго измѣренія, относительно воды, теплоемкости какого-нибудь другаго газа отличнаго отъ воздуха.

Другой способъ заключается въ томъ, что пропускаютъ весьма медленно постоянную струю воды по змѣеобразной трубкѣ калориметра, до-тѣхъ-поръ, пока его температура не сдѣлается постоянною. Вода эта выходитъ изъ Маріотова сосуда (фиг. 130), нагрѣется въ трубкѣ T, около которой обращается водяной паръ, выходитъ изъ верхней части спирали n, по оттянутой трубкѣ e, вливается въ раздѣленную трубку, служащую для узнавія ея скорости. Температура воды, при

ея входъ въ спираль, показывается тремя термометрами, расположенными на разныхъ высотахъ въ трубкѣ t. Для сравненія удѣльныхъ теплородовъ воды и воздуха служитъ вычисленіе n° 214.

Фиг. 130.



216. Непосредственное измѣреніе теплоемкости воздуха относительно воды. Третій способъ, также употребленный Румфортомъ, служитъ для непосредственнаго полученія этой теплоемкости относительно воды. Газъ движется съ постоянною скоростію въ змѣеобразной трубкѣ и возвышаетъ температуру калориметра отъ t° до θ°; войдя съ температурою T, онъ всегда выходитъ съ тою температурою, какую имѣетъ эта трубка и которая постояннымъ и безпрерывнымъ образомъ измѣняется отъ t° до θ°. Можно положить, что газъ выходитъ съ постоянною температурою равною средней величинѣ $\frac{1}{2}(t+\theta)=t'$, такъ что температура его понижается на $(T-t')^{\circ}$. Пусть V объемъ протекшаго газа, c его теплоемкость, P вѣсъ воды калориметра вмѣстѣ съ эквивалентомъ воды для теплоты металла; для опредѣленія c получается уравненіе:

$$cV(T-t')=P(\theta-t).$$

Чтобъ избѣгнуть ошибки, происходящей отъ дѣйствія окружающей среды, начинаютъ опытъ тогда, когда температура нѣсколько ниже окружающей и оканчиваютъ тогда, когда она будетъ на столько же градусовъ выше.

Очевидно, что степень сжатія газовъ имѣетъ замѣтное вліяніе на ихъ удѣльный теплородъ, отнесенный къ объемамъ. Для сравненія результатовъ, должно ихъ приводить къ тому же давленію. Деларошъ и Бераръ поступали слѣдующимъ образомъ: прилично перемѣняя высоту Маріотовыхъ сосудовъ U или трубки t (фиг. 129), они получали давленія p и p', изъ которыхъ одно было выше, а другое ниже 760^{mm} и при этихъ давленіяхъ измѣривъ теплоемкости c и c'

воздуха они вычислили отношение $r = \frac{c' - c}{c} : \frac{p' - p}{p}$ и приняли его постояннымъ для всѣхъ газовъ въ предѣлахъ перемѣнъ атмосферного давленія. Тогда, измѣривъ c при давленіи p, они по этому заключали о величинѣ c' при давленіи p', которое они брали равнымъ 760^{mm}.

217. Выводы — Предъидущими способами Деларошъ и Бераръ нашли разныя величины теплоемкостей газовъ для того же объема и при постоянномъ давленіи Будучи отнесены къ вѣсу, удѣльные теплороды еще болѣе между собою разнятся

Вотъ эти найденные результаты

ГАЗЫ простые или смѣшанные.	Удѣльные теплороды: Отнес. къ тому же объему, принимая теплоемкость воздуха равною 1.	Отнес. къ тому вѣсу, принимая теплоемкость возд. равною 1	Отнес. къ тому же вѣсу, принимая теплоемкость воды равною 1.	ГАЗЫ сложные.	Удѣльные теплороды. Отнес. къ тому же объему, принимая теплоемкость воздух. равною 1	Отнес. къ тому же вѣсу, принимая теплоемкость возд. равною 1.	Отнес. къ тому же вѣсу, принимая теплоемкость воды равною 1.
Воздухъ. . . .	1,0000	1,0000	0,2669	Углекислота. .	1,2383	0,8280	0,2210
Кислородъ. . .	0,9765	0,8848	0,2361	Закись азота.	1,3503	0,8878	0,2369
Водородъ. . . .	0,9033	12,3401	3,2936	Углеродисто-водородный газъ.	1,5530	1,5763	0,4207
Азотъ.	1,0000	1,0318	0,2754	Окись углерода	1,0340	1,0805	0,2884

Во время описываемыхъ нами работъ, законъ теплоемкостей атомовъ не былъ еще открытъ. Дюлонгъ и Пти замѣтили, что онъ прилагается къ простымъ газамъ, упомянутымъ въ предъидущей таблицѣ, ибо ихъ удѣльные теплороды, отнесенные къ тому же объему, должны быть приняты за равные, такъ-какъ, замѣчаемыя по таблицѣ, разности между ними заключаются въ предѣлахъ ошибокъ наблюденій; откуда заключаютъ, что теплоемкости атомовъ равны между собою, потому-что число ихъ въ томъ же объемѣ, при томъ же давленіи и той же температурѣ одинаковое. Этотъ резуль-

татъ можетъ быть разсматриваемъ какъ новое подтвержденіе этого послѣдняго закона, принимая, что законъ теплоемкостей атомовъ простирается и на простые газы.

218. Неизбѣжныя причины ошибокъ въ способѣ Деларошa и Берара происходящія отъ влажности газовъ, отъ смѣшенія въ нѣкоторой степени воздуха съ газомъ, смѣшенія, происходящаго сквозь стѣнки пузырей и наконецъ отъ несовершенства термометровъ въ эпоху производства этихъ опытовъ, возбудили новыя изслѣдованія по тому же предмету. Гайкрафтъ производилъ опыты съ помощью подобнаго же прибора, какой имѣли Деларошъ и Бераръ *), но только газы, которые онъ хотѣлъ сравнивать, будучи высушены, вводились имъ въ два цилиндра, снабженные поршнями; отсюда, отъ дѣйствія этихъ поршней, газы шли въ два совершенно одинаковыхъ калориметра. Газы эти нагрѣвались, проходя сначала по трубкамъ, погруженнымъ въ ту же ванну, наполненную горячею водою. Впрочемъ ходъ производства опытовъ не описанъ съ подробностью, достаточною для того, чтобы можно было судить о степени точности полученныхъ результатовъ.

Де-ла-Ривъ и Марсе рѣшали тотъ же вопросъ по способу, который непосредственно даетъ теплоемкость газовъ *при постоянномъ объемѣ*. Газъ заключенъ въ шаръ изъ тонкаго стекла, сообщающійся со ртутнымъ манометромъ. Этотъ шаръ находится въ другомъ изъ закопченной мѣди, изъ котораго выкачиваютъ воздухъ. Потомъ, погрузивъ приборъ въ горячую воду, измѣряютъ время, втеченіи котораго газъ нагрѣется на опредѣленное количество; онъ самъ показываетъ свою температуру, дѣйствуя своею упругою силою на манометръ, измѣряющій эту силу. Теплоемкости газовъ относятся между собою, какъ эти замѣченныя времена. Способъ этотъ не можетъ доставить точныхъ результатовъ, во-первыхъ потому, что теплота, поглощаемая газомъ, составляетъ весьма малую дробную часть той, которая поглощается его оболочкой, и во-вторыхъ потому, что скорость нагрѣванія зависитъ отъ быстроты теченій, образующихся въ газообразной массѣ (249) Но что наиболѣе показываетъ неточность этого способа, такъ это то, что онъ доставилъ одинаковую теплоемкость для четырнадцати простыхъ и сложныхъ газовъ, а это не со-

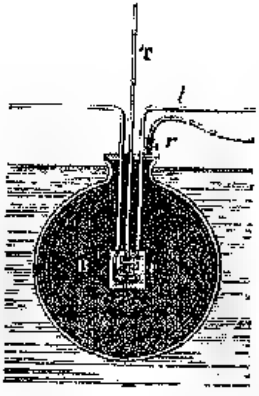
*) Annales de chimie et de physique, 2-e serie, t. XXVI.

гласуется съ опытами Деларошa и Берара и съ болѣе позднимиопытами Дюлонга и Реньо

Анжонъ Ардоин и Зуэрманъ (Suermann) каждый съ своей стороны, также измѣряли теплоемкости различныхъ газовъ по способу основанному на охлажденіи, которое производится струею сухаго газа, текущаго на смоченный шарикъ термометра. Основаніе этого способа есть то же самое, какое служитъ для обнаруженія степени влажности воздуха съ помощью смоченнаго термометра *.

219. Опыты Де-ла-Рива и Марсе. — Де-ла-Ривъ и Марсе публиковали, въ 1835 году, новые опыты, произведенные по способу, который независимо отъ нихъ былъ также придуманъ и Дюлонгомъ, и который много представляетъ ручательствъ въ точности **). Приборъ составляетъ цилиндрическій калориметръ v (фиг. 131) изъ весьма тонкой мѣди, въ 37^{mm} высоты и въ 33^{mm} ширины; въ немъ заключена маленькая мѣдная змѣевобразная трубка, обѣ оконечности которой выступаютъ на нѣсколько миллиметровъ изъ-за верхняго основанія цилиндрическаго сосуда и соединяются съ двумя стеклянными трубками l, l', которыя сообщаются съ газометрами. Въ срединѣ сосуда v помѣщенъ термометръ. Сосудъ этотъ вмѣстѣ со стержнемъ термометра, посредствомъ трубокъ l, l' подвѣшенъ въ срединѣ мѣднаго, внутри закопченнаго, шара B, изъ котораго съ помощью трубки r выкачиваютъ воздуха.

фиг. 131.



Производство опыта слѣдующее: приборъ помѣщается въ обширную залу съ постоянною температурою, и сосудъ v наполняется терпентинною эссенціею, которая имѣетъ вдвое меньшую теплоемкость чѣмъ вода, черезъ это перемѣны въ температурѣ дѣлаются болѣе чувствительными. Нагрѣваютъ сосудъ v и помѣщаютъ его въ закопченный шаръ, изъ котораго выкачиваютъ воздухъ и который потомъ погружаютъ въ ванну съ водою при температурѣ окружающаго воздуха. Тогда наблюдаютъ термометръ T и замѣчаютъ время, въ ко-

* Annales de chimie et de physique, 2-e série, t. LXIII.
**) Annales de chimie et de physique, 2-e série, t. LXXV.

торое онъ понизится на нѣкоторое число градусовъ, напримѣръ отъ 15° до 20°, потомъ повторяютъ этотъ опытъ при тѣхъ же условіяхъ, но пропуская по змѣеобразной трубкѣ равномѣрно струю сухаго газа, имѣющаго окружающую температуру. Тогда скорость охлажденія сосуда v будетъ отчасти происходитъ отъ того, что текущій воздухъ отнимаетъ нѣкоторое количество теплоты. Наконецъ въ третьемъ опытѣ точно также пропускаютъ газъ, хорошо высушенный, теплоемкость котораго желаютъ сравнивать съ теплоемкостію воздуха. Во время опыта дѣйствуютъ краномъ такимъ-образомъ, чтобъ скорость обоихъ газовъ была одинакова. Объемы газовъ, пропущенные чрезъ приборъ, означаются въ газометрѣ, изъ котораго ихъ выпускаютъ.

Остается теперь показать, какъ отъ данныхъ опыта переходятъ къ опредѣленію отношенія теплоемкостей. Слѣдующій способъ вычисленія былъ показанъ Дюлонгомъ. Пусть R скорость охлажденія, происходящая только вслѣдствіе лучеиспусканія, когда ничего не проходитъ по змѣеобразной трубкѣ; а V и V' суть эти скорости, когда воздухъ, а потомъ газъ пропускаются чрезъ приборъ; если означимъ чрезъ v и v' скорости охлажденія, производимыя только воздухомъ, и только газомъ, то очевидно получимъ: $v = V - R$ и $v' = V' - R$. Съ другой стороны, скорости v и v' пропорціональны теплоемкостямъ газовъ и объемамъ U и U', которыя проходятъ въ единицу времени, считая отъ того же начальнаго избытка t температуры калориметра. Слѣдовательно, назвавъ чрезъ c и c' теплоемкости двухъ газовъ, получимъ: $v : v' = Uc : U'c'$; откуда

$$(\gamma,\ c : c' = Uv : Uv' = U(V - R) : U'(V' - R).$$

Если избытки температуры не превосходятъ величины отъ 10 до 12°, то скорости R, V, V' вычисляются по формуламъ (α, и (β) помѣщеннымъ въ n° 215, изъ которыхъ послѣдняя даетъ

$$R = t\ Log.\ a,\ V = t\ Log\ a',\ V' = t\ Log.\ a'';$$

въ этихъ выраженіяхъ

$$Log\, a = \frac{1}{m}\ Log\ \frac{t'}{t},\ Log\, a' = \frac{1}{m'}\ Log\ \frac{t''}{t},\ Log\ a'' = \frac{1}{m''}\ Log.\ \frac{t'''}{t};$$

гдѣ t' t'' t''' суть избытки температуры, m, m', m'', — числа минутъ, чрезъ которыя наблюдаются эти избытки. Если все это подставить въ уравненіе (γ), то получимъ.

$$c : c' = U'\left[t\left(\frac{1}{m'} Log.\frac{t'}{t} - \frac{1}{m} Log.\frac{t'}{t}\right)\right] : U\left[t\left(\frac{1}{m''} Log\frac{t''}{t} - \frac{1}{m} Log.\frac{t'}{t}\right)\right].$$

Если предположимъ, что эти три опыта, начатые при томъ же избыткѣ t, были окончены, какъ это сдѣлали Де-ла-Ривъ и Марсе, также при одномъ и томъ же избыткѣ t', то подставляя t' вмѣсто t' и t'', изъ послѣдней формулы получимъ:

$$\frac{c}{c'} = \frac{U'}{U} \cdot \frac{m - m'}{m - m''} \cdot \frac{m''}{m'} \text{ или наконецъ } \frac{c}{c'} = \frac{u'}{u} \cdot \frac{m - m'}{m - m''};$$

здѣсь u и u' суть объемы газа, протекшаго по змѣеобразной трубкѣ, впродолженіи временъ m' и m'', такъ-что $U = u : m'$ и $U' = u' : m''$; ибо скорость теченія одинакова. Въ послѣднемъ видѣ формула заключаетъ въ себѣ только тѣ величины, которыя непосредственно получаютъ изъ наблюденія.

Этимъ способомъ Де-ла-Ривъ и Марсе нашли одинаковую теплоемкость для воздуха, кислорода и водорода.

Опыты Дюлонга. — Въ ту же эпоху времени Дюлонгъ изучалъ теплоемкость газовъ по способу, подобному тому, который мы только что описали. Работа этого знаменитаго физика не была публикована; въ оставленныхъ имъ замѣчаніяхъ найдено было только выраженіе слѣдующихъ законовъ.

1) *Если простые газы, соединяясь химически, при этомъ не сгущаются, то происходящіе изъ нихъ сложные газы, имѣютъ одинаковую съ ними теплоемкость*; откуда должно заключить, что удѣльный теплородъ сложныхъ газовъ тотъ же самый какъ еслибъ они были простыя смѣси. Подобнаго вывода мы достигли также и въ твердыхъ тѣлахъ (210).

2) *Сложные газы, при образованіи которыхъ произошло одинаковое сгущеніе составляющихъ газовъ, имѣютъ равныя теплоемкости, хотя и весьма различныя отъ теплоемкостей простыхъ газовъ.* Можно только сожалѣть, что подробности этого важнаго труда Дюлонга не были отъисканы послѣ его смерти.

220. Опыты Реньо. — Реньо, въ 1853 году, публиковалъ нѣкоторые результаты *) о теплоемкостяхъ газовъ, найденные имъ послѣ пятнадцатилѣтнихъ изысканій:

1 *Теплоемкость воздуха относительно воды, съ измѣненіемъ*

*) Comptes rendus des séances de l'Academie des sciences de Paris, t. XXXVI.

температуры измѣняется нечувствительно. Опыты были произведены отъ 30° до 224°. Изслѣдованія надъ другими постоянными газами привели къ тому же заключенію.

2) Опыты надъ воздухомъ и нѣсколькими другими газами, при которыхъ давленіе доведено было до 10-ти атмосферъ, показали, что теплоемкость, отнесенная къ единицѣ массы, не зависитъ отъ давленія или по-крайней-мѣрѣ зависитъ отъ него чрезвычайно мало. Вотъ числа публикованныя Реньо:

ИМЕНА газовъ.	Удѣльные теплороды. Отнесенные къ вѣсу.	Отнесенные къ объему.	ИМЕНА газовъ	Удѣльный теплороды. Отнесенные къ вѣсу.	Отнесенные къ объему.
Простые и смѣшанные газы.					
Воздухъ	»	0,2377	Водородъ	3,4046	0,2356
Кислородъ	0,2182	0,2412	Хлоръ	0,1214	0,2962
Азотъ . . .	0,2440	0,2370	Бромъ	00,5518	0,2992
Сложные газы.					
Закись азота	0;2238	0,3113	Хлористоводородная кислота	0,1845	0,2302
Окись азота	0,2315	0,2406		0,2423	0,2886
Окись углерода	0,2479	0,2399	Сѣрнистоводородная кислота	0,5080	0,2994
Углекислота	0,2164	0,3308		0,5929	0,3277
Сѣрнист. кислота	0,1553	0,3489		0,3694	0,3572
Пары.					
Водяные пары	0,4750	0,2050	Пары уксусн. эѳира.	0,4008	1,2184
Пары сѣрн. углерода	0,1575	0,4146	— ацетона	0,4124	0,8341
— алькоголя . .	0,4513	0,7171	— бензина .	0,3754	1,0114
— эѳира	0,4810	1,2296	— скипидара	0,5061	2,3776
— хлор. эѳира.	0,2737	0,6117	— хлор. фосфор.	0,1346	0,6386
— бромист. . . .	0,1816	0,6777	— хлор. мышьякъ	0,1122	0,7013
— сѣрнист. . . .	0,4005	1,2568	— хлор кремня	0,1329	0,7788
— синеродист.,	0,4255	0,8293	— хлор. олова . . .	0,0939	0,8639
— хлороформа,	0,1568	0.8310	— хлор. титана.	0,1263	0,8634
— гопя жидк. .	0,2293	0,7844			

Мы видимъ, что удѣльные теплороды, отнесенные къ объему, для кислорода, азота и водорода весьма мало различаются одинъ отъ другаго, и это совершенно согласно съ прежде найденными результатами. Хлоръ же и бромъ доставили числа равныя между собою, но значительно бо́льшія тѣхъ чиселъ, которыя соотвѣтствуютъ простымъ газамъ. Можетъ-быть это происходитъ отъ того, что они близки къ точкамъ, при которыхъ они обращаются въ капельное состояніе, или, нельзя ли изъ этого несогласія заключить, что хлоръ и бромъ не суть простые газы,—что они впослѣдствіи будутъ разложены, подобно синероду, который съ ними представляетъ такъ много аналогіи? Но это не можетъ быть рѣшено при настоящемъ состояніи науки. Замѣтимъ еще, что удѣльный теплородъ водяныхъ паровъ почти тотъ же, что̀ и для льда, т.-е. составляетъ половину теплоемкости воды, между-тѣмъ какъ Деларошъ и Бераръ нашли для него число почти равное 1. Итакъ, нельзя уже сказать, какъ въ *n*° 203, что теплоемкость тѣла, въ газообразномъ состояніи, всегда болѣе чѣмъ въ капельножидкомъ. Ученый міръ съ нетерпѣніемъ ожидаетъ публикаціи записокъ Реньо̀.

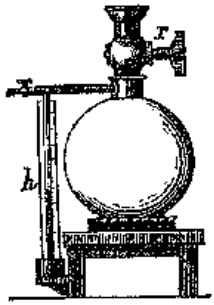
221. Удѣльный теплородъ газовъ при постоянномъ объемѣ. — Еще не придуманъ способъ, который бы съ достаточною точностію могъ непосредственно доставить теплоемкость газовъ, при постоянномъ объемѣ; но возможно, разными средствами, найти отношеніе между теплоемкостями того же газа при постоянномъ давленіи и при постоянномъ объемѣ.

Въ запискѣ, имѣвшей преимущественною цѣлію доказать существованіе теплоты въ пустомъ пространствѣ, существованіе, которое въ то время еще не принималось, Клемакъ и Дезормъ описали простой, по своему началу, способъ, основанный на освобожденіи теплоты, при быстромъ сжатіи газа.

Опыты Клемана и Дезорма (Clément et Désormes).—Способъ ихъ состоитъ просто въ томъ, что находятъ количество теплоты, отдѣляемое расширеннымъ газомъ при быстромъ приведеніи его къ прежнему объему. Это количество представляетъ теплоту, употребленную на расширеніе газа; слѣдовательно, оно собою выражаетъ разность между теплоемкостями того же газа при постоянномъ давленіи и при постоянномъ объемѣ. Итакъ достаточно измѣрить возвышеніе температуры произведенное быстрымъ сжатіемъ, способнымъ уменьшить объемъ газа на то количество, на которое онъ расширился.

Клеманъ и Дезормъ употребляли шаръ (фиг 132), въ 28 литровъ въ объемъ, снабженный краномъ r, съ широкимъ отверстіемъ, и сообщающійся съ вертикальною трубкою h, которая погружается въ воду и назначена для показанія давленія въ шаръ. Начинаютъ тѣмъ, что разрѣжаютъ нѣсколько воздухъ въ шаръ, посредствомъ воздушнаго насоса Пусть p' его давленіе, выведенное изъ наблюденія высоты барометра и высоты жидкости въ трубкѣ h. Открываютъ кранъ r; отъ этого наружный воздухъ устремляется въ шаръ; тотъ же воздухъ, который уже былъ въ шаръ, отремленемъ этимъ сдавливается и нагрѣвается; между-тѣмъ какъ жидкій столбъ въ трубкѣ h, вслѣдствіе весьма большаго отверстія въ кранѣ r, падаетъ почти мгновенно до наружнаго горизонта, такъ-что изъ теплоты, выдѣляемой газомъ, теряется чрезъ стѣнки шара только малая ея часть Лишь только водяной столбъ h сдѣлался равнымъ нулю, какъ кранъ запираютъ; тогда, послѣдствіе охлажденія газа, горизонтъ жидкости въ трубкѣ поднимается; отъ прибавленія же въ шаръ воздуха, который въ него вошелъ, давленіе p'' оказывается большее чѣмъ p'.

фиг. 132.



Чтобы получить возвышеніе температуры x, произведенное входомъ воздуха, означимъ чрезъ p давленіе, а чрезъ t температуру наружнаго воздуха, и пренебрежемъ перемѣнами въ объемѣ, которыя произошли отъ перемѣщенія горизонта h. Масса газа, обладавшая температурою $t+x$, имѣла упругость равную p. Когда же температура снова сдѣлалась t, тогда эта упругость, не сопровождаясь перемѣною объема газа, оказалась равною p''; такъ-что, означивъ чрезъ α коэффиціентъ расширенія воздуха (200), получимъ.

$$\frac{p}{p''} = \frac{1+\alpha(t+x)}{1+\alpha t}, \text{ откуда } x = \frac{p-p''}{p''} \cdot \frac{1+\alpha t}{\alpha}.$$

Чтобы узнать сжатіе, соотвѣтствующее этому возвышенію температуры, замѣтимъ, что воздухъ, который занималъ въ шарѣ объемъ v' при давленіи p', былъ сжатъ введеннымъ воздухомъ, такъ, что при той же температурѣ, но при давленіи p'', онъ занялъ объемъ v''. Слѣдовательно по закону Маріота

$$v' \cdot v' = p' \cdot p'', \text{ откуда } \frac{v'-v''}{v'} = \frac{p''-p'}{p''}.$$

Первая часть уравненія представляетъ уменьшеніе единицы объема и, чрезъ вычисленіе второй части, она получается въ зависимости отъ наблюдаемыхъ количествъ p' и p''.

Отсюда можно заключить о возвышеніи температуры y, которое произведено нѣкоторымъ сжатіемъ k, ибо, принявъ перемѣну въ давленіи, за весьма малую величину, получимъ: $\frac{p''-p'}{p''} : x \quad k : y$. Чтобы найти возвышеніе температуры, соотвѣтствующее сжатію $\frac{1}{267}$ объема при 0°, или сжатію $\frac{1}{267+t}$ объема при $t°$, то нужно, вмѣсто k, подставить эту величину въ послѣднее уравненіе, равно какъ и x должно замѣнить найденною для него величиною; тогда получимъ. $y = \frac{p \quad p''}{p''-p'} = 0°, 348$. Это число представляетъ возвышеніе температуры, произведенное въ воздухѣ, при постоянномъ объемѣ, количествомъ теплоты необходимымъ для его расширенія на $\frac{1}{267+t}$ объема при $t°$

Отсюда слѣдуетъ что, если теплоемкость воздуха, при постоянномъ объемѣ, изобразимъ чрезъ c', то теплоемкость, которую онъ получилъ бы, еслибы могъ свободно расширяться, сохраняя то же давленіе, выразилась бы чрезъ $c'+c'y$, ибо къ c' должно придать количество теплоты, возвышающее, на количество y, температуру газа при постоянномъ объемѣ, т.-е придать величину $c'y$ Такимъ-образомъ

$$c = c' + c'y = c'\left(1 + \frac{p - p''}{p'' - p'}\right) = c'\frac{p \quad p'}{p'' - p'}.$$

Этимъ путемъ Клеманъ и Дезормъ нашли для воздуха $c = c' \times 1,348$.

Въ способѣ этомъ много поводовъ къ ошибкамъ. съ какою бы быстротою ни вступалъ воздухъ въ шаръ, часть выдѣляемой теплоты немедленно поглощается стѣнками послѣдняго; воздухъ этотъ, получаемый изъ атмосферы, всегда влаженъ; теплота, освобождаемая наблюдателемъ, также измѣняетъ результаты. Употребивъ обратный порядокъ дѣйствій, Гэ-Люссакъ и Велтеръ (Welter) отчасти избѣгнули этихъ неудобствъ; вмѣсто-того, чтобы уменьшать давленіе въ шарѣ, и затѣмъ впускать въ него воздухъ, они, въ началѣ, давали сухому газу, заключенному въ шарѣ, давленіе $p' = p + k'$, высшее, чѣмъ давленіе p атмосферы; потомъ, открывъ кранъ, оставляли въ этомъ положеніи шаръ до-тѣхъ-поръ, пока, вслѣдствіе выхода изъ него нѣкотораго количества газа и вслѣдствіе охлажденія, происшедшаго

отъ расширенія газа, давленіе въ немъ снова не дѣлалось равнымъ d. Тогда немедленно снова запирали кранъ; температура, послѣ этого принимала прежнюю свою величину, а давленіе, увеличиваясь, достигало до величины $p''=p+h''$. По этимъ наблюденіямъ, перемѣна x въ температурѣ и отношеніе $\frac{c}{c'}$ между теплоемкостями опредѣлялись изъ слѣдующаго:

$$x=\frac{p-p''}{p''}\cdot\frac{1+\alpha t}{\alpha}=-\frac{h''}{p+h''}\,\frac{1+\alpha t}{\alpha},\ \text{и}\ \frac{c}{c'}=\frac{p-p'}{p''-p'}=\frac{h'}{h'-h''}.$$

Видимъ, что если атмосферное давленіе P принять за постоянное впродолженіи опыта, то нѣтъ необходимости его знать Впрочемъ охлажденіе, произведенное расширеніемъ воздуха, равно, что мы впослѣдствіи и увидимъ, возвышенію температуры, которое произведено было бы сжатіемъ равнымъ этому расширенію. Этимъ способомъ, для воздуха нашли $\frac{c}{c'}=1{,}375$.

Массонъ произвелъ большое число подобныхъ опытовъ надъ воздухомъ и надъ разными другими газами. Употребленный имъ шаръ имѣлъ большое отверстіе и заключалъ 39 литровъ. Для опредѣленія давленія измѣрялась, посредствомъ катетометра, разность горизонтовъ двухъ столбовъ концентрированной сѣрной кислоты, заключенной въ колѣнчатой трубкѣ, по формѣ буквы U, одна оконечность которой сообщалась съ внутренностію шара, а другая съ атмосферою Шаръ былъ погруженъ въ большую массу воды, которой температура, втеченіи нѣсколькихъ часовъ, оставалась постоянною. Такъ-какъ, по выходѣ газа, болѣе часу времени употреблялось на то, чтобъ температура газа опять сдѣлалась равною температурѣ ванны, то необходимо было повѣрять, не измѣнилось ли отъ начала опыта атмосферное давленіе. Если измѣнялось, то достаточно было вмѣсто $p''=p+h''$ употреблять $p+h''\pm\pi$, гдѣ π представляетъ перемѣну давленія, тогда $\frac{c}{c'}=\frac{h'}{h'-(h''\pm\pi)}$.

Такимъ-образомъ Массонъ, для *воздуха, водорода* и *углекислоты*, нашелъ слѣдующія цифры: 1,41; 1,37, и 1,31, которыя мало разнятся отъ найденныхъ Дюлонгомъ, по совершенно различному способу.

222. Опыты Дюлонга. Вслѣдствіе публикаціи результатовъ, найденныхъ Клеманомъ и Дезормомъ, относившихся къ зависимости между двумя теплоемкостями воздуха, Лапласъ заставилъ произвести опыты надъ скоростію звука въ Bureau des longitudes, и объяснилъ пе-

согласіе между непосредственно найденною величиною этой скорости и тою ея величиною, которую доставляла формула Ньютона. Въ сочиненіяхъ о теоріи звука можно видѣть, какимъ-образомъ, употребляя эту формулу, въ которую введено отношеніе $c : c'$, и заставляя разные газы производить звуки въ органной трубѣ, Дюлонгъ достигъ до того, что нашелъ отношенія между теплоемкостями этихъ газовъ. Результаты, полученные имъ для семи разныхъ газовъ, дали ему слѣдующіе удѣльные теплороды *при постоянномъ объемѣ*:

воздухъ,	кислородъ,	водородъ,	углекислота,
1,000	1,000	1,000	1,249

окись углерода,	окись азота,	углерод. водородн. газъ.
1,000	1,227	1,754.

Слѣдствія. Если принять за единицу удѣльный теплородъ воздуха при постоянномъ объемѣ то количество теплоты, необходимое для возвышенія на 1° единицы объема, могущей свободно расширяться, будетъ 1,421, и разность 0,421 представитъ дѣйствіе на термометръ, производимое приведеніемъ расширенной массы къ ея прежнему объему, т.-е. ея сжатіемъ на $\frac{1}{267+t}$ ея объема.

Такъ-какъ скорость звука не зависитъ отъ давленія газа, то должно принять, что отношеніе $c : c'$ остается постояннымъ, какая бы ни была степень его сжатія.

Для воздуха, водорода и кислорода, т.-е. для газовъ простыхъ или смѣшанныхъ, отношенія между двумя ихъ теплоемкостями суть: 1,421; 1,415 и 1,407; числа эти могутъ быть разсматриваемы какъ равныя, въ-особенности если замѣтимъ, что величина ихъ выведена изъ формулы вида: $v = \sqrt{A(1 + at)\frac{c}{c'}}$, въ которой, для извлеченія количества $\frac{c}{c'}$, должно возвысить въ квадратъ скорость v звука въ газѣ, а слѣдовательно возвысить и числа колебаній, служившія для вычисленія этой скорости, но чрезъ это усиливаются ошибки, происходящія отъ неточностей опытовъ.

Такъ-какъ дробная часть разсматриваемыхъ отношеній остается одинаковою для простыхъ газовъ, то должно заключать, что эти газы, будучи сжаты на то же количество, производятъ одинаковое возвышеніе своей температуры; и такъ-какъ удѣльные ихъ теплороды

при постоянномъ давленіи одинаковы, то газы эти должны освобождать то же *количество теплоты*, когда ихъ одинаково сжимаютъ, предполагая, что теплоемкость при постоянномъ объемѣ также одна и та же; гипотеза же эта самая простая и самая естественная *).

Относительно сложныхъ газовъ должно замѣтить, что чѣмъ значительнѣе теплоемкость ихъ при постоянномъ давленіи, тѣмъ меньше возвышеніе ихъ температуры, производимое тѣмъ же даннымъ сжатіемъ. Спрашивается, не происходятъ ли эти разности въ *температурѣ*, единственно отъ разности въ теплоемкости; тогда количества теплоты, освобождаемыя вслѣдствіе того же сжатія, были бы одинаковы. Сдѣлавъ это предположеніе, Дюлонгъ вычислилъ удѣльные теплороды сложныхъ газовъ при постоянномъ давленіи, и нашелъ числа мало разнящіяся отъ тѣхъ, которыя получены Деларошемъ и Бераромъ изъ прямыхъ наблюденій, что заставляетъ принять слѣдующій простой законъ. 1) *равные объемы всѣхъ газовъ, взятыхъ при томъ же давленіи и той же температурѣ, освобождаютъ или поглощаютъ то же количество теплоты, если только сжатіе или расширеніе ихъ составляетъ ту же часть ихъ объема;* 2) *происходящія, при этомъ, перемѣны въ температурѣ обратно пропорціональны удѣльнымъ теплородамъ газовъ при постоянномъ объемѣ.* Когда мы будемъ говорить о способахъ производить теплоту, то мы возвратимся къ разсужденію о теплотѣ, освобождаемой вслѣдствіе сжатія.

ГЛАВА VI.

Измѣненія состоянія тѣлъ. — Пары.

223. Мы видѣли, что первое представляющееся дѣйствіе теплоты есть расширеніе тѣлъ, сопровождаемое возвышеніемъ ихъ температуры; въ предъидущей же главѣ было показано, какъ измѣрять количества теплоты, необходимыя для произведенія этихъ дѣйствій, но теплота можетъ также измѣнять и состояніе тѣлъ.

---

*) Очевидно, что эти слѣдствія не прилагаются къ хлору и брому, удѣльные теплороды которыхъ не согласуются съ прочими (220).

Когда твердое тѣло доводятъ до достаточно возвышенной температуры, тогда оно плавится, т.-е. переходитъ въ капельно-жидкое состояніе. Жидкость эта, если продолжаютъ возвышать ея температуру, расширяется и потомъ обращается въ свою очередь въ парообразное или газообразное состояніе. Если, напротивъ, газъ охлаждаютъ, т.-е. отнимаютъ отъ него часть заключенной въ немъ теплоты, то онъ сгущается въ капельное состояніе и потомъ, когда охлаждающая сила довольно значительна, онъ дѣлается твердымъ тѣломъ. Для совершенія этихъ послѣдовательныхъ переходовъ изъ одного состоянія въ другое, необходимы опредѣленныя количества теплоты, которыя и были измѣрены; причемъ найдены особые для нихъ законы, сопровождаемые замѣчательными явленіями, которыя мы разсмотримъ въ этой главѣ

§ 1. Переходъ изъ твердаго состоянія въ капельножидкое и обратно.

I. Переходъ изъ твердаго состоянія въ капельножидкое.

224. Твердое тѣло можетъ обратиться въ жидкое отъ двухъ разныхъ причинъ: отъ теплоты и отъ дѣйствія жидкости, которая его растворяетъ. Химики XVIII вѣка, принимавшіе теплоту какъ жидкость, и называвшіе ее *теплородомъ*, соединяли обѣ эти причины въ одну, разсматривая плавленіе тѣла отъ теплоты какъ раствореніе его въ теплородѣ. Мы въ началѣ займемся обращеніемъ твердаго тѣла въ жидкое отъ дѣйствія теплоты.

Постоянство точки плавленія. — Первый фактъ, который долженъ быть доказанъ, состоитъ въ томъ, что каждое тѣло плавится при постоянной температурѣ, которая остается одинаковою, въ какія бы условія тѣло ни было поставлено. Этотъ законъ такъ естественно представляется уму, что было бы непонятно, почему онъ такъ долго не былъ извѣстенъ, еслибъ исторія наукъ не показывала намъ, что самые простые законы суть часто тѣ, которые долѣе другихъ были отвергаемы.

Температура, до которой должно довести разныя тѣла, для того чтобы ихъ расплавить, весьма различна, когда переходятъ отъ одного тѣла къ другому. Такъ твердая ртуть плавится — при 40°, вода при 0°, олово при 228°, свинецъ при 322°, желѣзо при ослѣпляющемъ бѣлокалильномъ жарѣ. Платина можетъ быть расплавлена посред-

ствомъ теплоты, производимой электричествомъ, или посредствомъ теплоты зажженныхъ газовъ водорода и кислорода Впрочемъ Сенъ-Клеръ-Девиль (Saint-Clair Deville) успѣлъ ее расплавить въ известковомъ тиглѣ въ огнѣ кузнечнаго горна, употребляя въ мелкихъ кускахъ весьма твердый коксъ, происшедшій изъ остатковъ несовершенно сгорѣвшаго каменнаго угля; при этомъ воздухъ мѣховъ выходилъ изъ цѣлаго круга маленькихъ отверстій, которыми и распространялся по всей массѣ топлива. Такимъ же способомъ онъ расплавилъ и кремнеземъ, уступавшій только зажженной смѣси газовъ водорода и кислорода. Употребляя эту послѣднюю смѣсь, Лавуазье расплавилъ баритъ, известь и магнезію. Для тугоплавкихъ веществъ употребляются также зажигательныя зеркала и стекла. Итакъ видимъ, что существуетъ большая разность между температурами, необходимыми для перехода разныхъ веществъ въ капельножидкое состояніе Вотъ таблица точекъ плавленія разныхъ тѣлъ:

Вещества	Градусы Цельзія.	Вещества.	Градусы Цельзія.	Вещества.	Градусы Цельзія.	Пирометръ Вэджвуда.
Ртуть	—40°	Фосфоръ . .	44°,2	Чистое серебро.	1000°	20
Терпентинная эссенція . . .	—10	Калій	58	Мѣдь	»	27
Ледъ . . .	0	Натрій . . .	90	Бѣлый чугунъ.	1050	»
Коровье масло. *	32	Іодъ.	107	Сѣрый чугунъ.	1100	»
Жиръ или сало.	33	Сѣра	115	Золото ($\frac{1}{10}$ мѣди)	1180	»
Уксусная кислота	45	Камфора . . .	175	Чистое золото.	1250	32
Спермацетъ .	49	Олово. . .	235	Кобальтъ . .	»	130
Стеаринъ. . .	55	Висмутъ . . .	260	Сталь	1400 до 1500	130
Маргар. кисл.	60	Свинецъ . . .	322	Мягкое желѣзо.	1500	130
Желт. воскъ.	61	Цинкъ.	422	Ковап. желѣзо	1600	»
Бѣл. воскъ	68	Сурьма. . . .	433	Никкель. . . .	»	160
Стеарин. кисл.	70	Бронза	900	Марганецъ . .	»	160

Изъ температуръ, превышавшихъ 500°, почти всѣ были опредѣлены Пуль посредствомъ воздушнаго пирометра (188) или изъ удѣльнаго теплорода платины, опредѣленнаго по способу смѣшеній (204).

225. Огнеупорныя тѣла. Такъ назывались нѣкогда тѣла, которыя не могли быть расплавлены. Но въ настоящее время это названіе употребляется въ болѣе ограниченномъ смыслѣ, прилагая его къ тѣламъ, которыя, какъ платина, плавятся съ трудомъ. Большая разность между точками плавленія тѣлъ которыя были расплавлены заставила принять, что всѣ тѣла способны быть приведенными въ капельное состояніе, еслибъ только можно было ихъ довести до достаточно возвышенной температуры. Опытъ подтвердилъ это положеніе и число нерасплавляющихся тѣлъ съ каждымъ днемъ уменьшалось. Такъ, напримѣръ, Депрэ съ помощію столба изъ 600 элементовъ и нѣкоторыми другими способами, которые мы ниже покажемъ, успѣлъ расплавить *боръ* и *кремній*. Самый уголь былъ размягченъ въ рукахъ того же физика и при этомъ получились несомнѣнные признаки его плавленія.

Опытъ Галля — Есть вещества, которыя разлагаются еще не достигнувъ своей точки плавленія. Въ опытахъ, произведенныхъ для подтвержденія геологической теоріи Гюттона, Галль успѣлъ расплавить мѣлъ, каменный уголь, рогъ (*). Вещества эти онъ заключалъ въ герметически закупоренныя фарфоровыя или желѣзныя трубки, такъ что газы, образовавшіеся отъ разложенія нѣкоторой малой части этихъ веществъ, производили на остальную ихъ часть громадное давленіе и тѣмъ препятствовали ея разложенію. Расплавясь такимъ образомъ, мѣлъ, по охлажденіи, принимаетъ часто видъ сахаровиднаго мрамора т.-е. въ его изломѣ замѣчаютъ множество кристаллическихъ граней. Древесныя опилки, при тѣхъ же обстоятельствахъ превращаются въ смолистый уголь, подобный каменному углю и горящій блестящимъ пламенемъ

Стеклообразное плавленіе Бо́льшая часть тѣлъ переходитъ быстро въ капельное состояніе, какъ напримѣръ ледъ сѣра металлы, другія же тѣла размягчаются понемногу, принимая болѣе-и-болѣе тѣстообразное состояніе; такъ-что разсматриваемый переходъ совершается постепенно, почему и точка ихъ плавленія не можетъ быть опредѣлительно указана. Однакожъ, каждой степени

(*) Bibliothèque britannique, t. XXVII, 1804.

мягкости соотвѣтствуетъ особенная температура, насколько это возможно судить при той малой точности, съ которою опредѣляется степень этого состоянія. Къ этому разряду тѣлъ относятся: стекло, фосфорная кислота, кремни, смолы, и проч. Этотъ видъ плавленія называется стеклообразнымъ, потому-что онъ въ высокой степени принадлежитъ стеклу; именно на этомъ свойствѣ основаны разные способы, употребляемые для выдуванія и обработки этого вещества.

226. Скрытый теплородъ капельно-жидкаго состоянія тѣлъ. Замѣчаютъ, что когда тѣло плавится или таетъ, тогда температура его остается постоянною, какое бы ни было напряженіе сообщаемой ему теплоты. Это замѣчательное обстоятельство флорентинскіе академики не замедлили подвергнуть наблюденіе надъ тающимъ льдомъ; впослѣдствіи оно было подтверждено опытами надъ множествомъ другихъ веществъ. Изъ него Блекъ (Black) вывелъ заключеніе, что вся теплота, уступаемая тѣлу, исчезаетъ, употребляясь на произведеніе и поддержаніе его капельнаго состоянія. Если веществу сообщается бо́льшее количество теплоты, то въ то же самое время и расплавляется изъ него бо́льшее количество. Слѣдовательно, тѣло въ капельномъ состояніи обладаетъ значительнымъ количествомъ теплоты, непримѣтной для нашихъ чувствъ и не дѣйствующей на термометръ. Теплота эта получила названіе *скрытой теплоты*, въ отличіе отъ *теплоты явной*, которая обнаруживается въ дѣйствіяхъ температуры. Мы уже видѣли примѣры существованія скрытой теплоты въ явленіяхъ, происходящихъ во время расширенія тѣлъ; теплота эта присоединяется къ той, которая употребляется на возвышеніе температуры; но она поглощается и въ газахъ производитъ то, что ихъ удѣльные теплороды при постоянномъ объемѣ и при постоянномъ давленіи разнятся между собою. Мы видѣли, какимъ-образомъ возможно обнаружить эту скрытую теплоту посредствомъ быстраго сжатія газа (221). Открытіе скрытой теплоты капельнаго состоянія тѣлъ есть одно изъ самыхъ замѣчательныхъ, какія только были сдѣланы въ XVIII вѣкѣ. Оно, вмѣстѣ съ открытіемъ удѣльнаго теплорода, прославило Эдинбургскую Школу.

Перемѣна объема. Когда тѣло плавится, то также замѣчаютъ быструю перемѣну объема, такъ-что происходящая капельная жидкость, при той же температурѣ, занимаетъ объемъ различный отъ того, какой имѣло произведшее ее твердое тѣло. Для бо́льшаго числа тѣлъ, объемъ при этомъ увеличивается. Мы возвратимся къ подробностямъ

этого явленія, когда будемъ говорить о переходѣ изъ жидкаго состоянія въ твердое, переходѣ, который сопровождается равною, но противоположною, перемѣною объема.

II. Переходъ изъ жидкаго состоянія въ твердое.

227. Явленія относящіяся къ температурѣ. Когда капельная жидкость теряетъ свою теплоту, тогда она наконецъ переходитъ въ твердое состояніе. Переходъ этотъ называется *замерзаніемъ*, если онъ совершается при низкой температурѣ. Въ этомъ явленіи замѣчаютъ слѣдующіе законы:

1) Температура, при которой происходитъ замерзаніе, для каждаго вещества постоянная и одинаковая съ точкою плавленія. При этой температурѣ, чрезъ отнятіе нѣкотораго количества теплоты, часть жидкости обращается въ твердое состояніе, а чрезъ прибавленіе теплоты тѣлу, оно, если было въ твердомъ состояніи, расплавляется. Этотъ результатъ, утвержденный Ньютономъ, былъ долгое время оспариваемъ. По принятіи его оказывается, что точки отвердѣнія разныхъ жидкостей весьма различаются одна отъ другой, нѣкоторыя тѣла постепенно переходятъ изъ одного состоянія въ другое, послѣдовательно обнаруживая всё большія-и-большія степени сгущенія. Вещества, представляющія эту особенность, суть тѣ же, которыя представляютъ ее и при плавленіи.

2) Во все то время, какъ тѣло переходитъ въ твердое состояніе, температура его не можетъ уменьшаться, какое бы ни было напряженіе охлаждающей причины, или какое бы ни было количество безпрерывно отнимаемой отъ тѣла теплоты. Такимъ-образомъ термометръ, погруженный въ воду и подвергнутый дѣйствію весьма низкой температуры, во все время замерзанія показываетъ постоянно нуль. Замерзаніе происходитъ постепенно, но тѣмъ быстрѣе, чѣмъ сильнѣе холодъ. Эта постепенность объясняется превращеніемъ скрытой теплоты капельнаго состоянія въ явную теплоту, которая безпрерывно возстановляетъ температуру; безъ этого, лишь только температура достигла точки замерзанія, во всей массѣ тѣла произошло бы замерзаніе мгновенное и въ одинъ и тотъ же моментъ во всей массѣ, вмѣсто того чтобъ быть постепеннымъ.

Есть многія жидкости, которыя не могли быть заморожены, какъ напримѣръ сѣрнистый углеродъ, чистый алкоголь и многія другія капельныя жидкости органическаго начала. Однакожь Депрè

успѣлъ привести алькооль къ такой степени сгущенія, при которой онъ не выливался изъ сосуда, когда послѣдній былъ опрокинутъ; холодъ при этомъ былъ произведенъ смѣсью изъ твердой углекислоты, эѳира и приведенной въ капельное состояніе окиси азота.

Большая разность между температурами обращенія въ твердое состояніе позволяетъ думать, что упомянутыя капельныя жидкости заморозились бы, еслибъ было возможно достаточно ихъ охладить.

Ртуть долгое время видѣли только въ капельномъ состояніи; Браунъ (Braun) первый заморозилъ ее, въ 1759 году, посредствомъ охлаждающей смѣси изъ снѣга и азотной кислоты. Металлъ этотъ представляетъ въ твердомъ состояніи видъ свинца и его можно тогда подвергать ударамъ молота; во время прикосновенія къ нему рукою получается впечатлѣніе холода, смѣшиваемое съ впечатлѣніемъ, производимымъ горячимъ желѣзомъ. Позже видѣли ртуть замороженною въ полярныхъ странахъ естественнымъ холодомъ.

228. Уменьшеніе температуры ниже той точки, при которой совершается переходъ изъ жидкаго состоянія въ твердое.— Уменьшеніе это можетъ произойти безъ того, чтобъ тѣло перемѣнило свое состояніе. Въ началѣ наблюдали это обстоятельство при водѣ: Фаренгейтъ видѣлъ воду, остающеюся жидкою въ закрытой колбѣ съ оттянутымъ горлышкомъ, оставленной на воздухѣ при температурѣ ниже 0°; когда онъ отломилъ оконечность трубки, тогда вдругъ произошло замерзаніе, что онъ и приписалъ прикосновенію воздуха. Но въ другой разъ, когда онъ, перенося въ другое мѣсто сосудъ съ водою при температурѣ ниже 0°, при этомъ нечаянно оступился, то немедленно часть жидкости замерзла и температура поднялась до 0°, вслѣдствіе освобожденія скрытой теплоты этой отвердѣвшей части. Это возвышеніе температуры—еще лучше, чѣмъ постоянство температуры во время перехода жидкости въ твердое состояніе,—доказываетъ образованіе при этомъ явной теплоты изъ скрытаго состоянія.

Можно довести воду до — 12°, совершенно сохраняя ея капельное состояніе; для этого надобно, чтобъ разныя части жидкости, одна относительно другой находились въ покоѣ, а для достиженія этого необходимо, чтобъ охлажденіе было медленное, чѣмъ избѣгаютъ образованія внутреннихъ теченій (133). По этимъ причинамъ лучше охлаждать сосудъ снизу. Вода должна быть совершенно чистая; въ противномъ случаѣ спокойствіе ея будетъ нарушено движеніемъ постороннихъ въ ней частицъ, которыя сжимаются не такъ какъ ея собственныя частицы.

Вода, освобожденная отъ растворенаго въ ней воздуха, не столь удобна къ этого рода опытамъ, потому-что она замерзаетъ легче чемъ та, которая заключаетъ въ себѣ воздухъ, что Блекъ приписалъ движеніямъ, производимымъ на поверхности жидкости растворяющимся воздухомъ; слой масла, налитый на эту поверхность, также способствуетъ успѣшности опыта, какъ это замѣтилъ Мэранъ (Мангаи) въ своей диссертаціи о льдѣ.

Благденъ, долго работавшій надъ занимающимъ насъ явленіемъ, доказалъ, что вода продолжаетъ расширяться при охлажденіи ниже нуля, между-тѣмъ какъ ледъ, подобно всѣмъ твердымъ тѣламъ, при этомъ сжимается; такимъ-образомъ можно сказать, что вода вообще остается въ капельномъ состояніи, расширяется неопредѣленно выше и ниже 4°. Депрэ слѣдилъ за ея расширеніемъ до — 20°.

Когда вода приведена къ температурѣ ниже нуля, тогда, чтобъ заставить ее частію замерзнуть, достаточно опустить въ нее кусочекъ льда, около котораго тотчасъ же скопляется вновь образовавшееся количество льда, можно также сообщить сосуду толчокъ, или вращательное движеніе, отъ котораго частицы перемѣстились бы одна относительно другой. Въ такихъ случаяхъ замѣчаютъ по всѣмъ направленіямъ пересѣкающіяся иглы льда, а температура жидкости мгновенно поднимается до нуля градусовъ; повышеніе это происходитъ отъ освобожденія скрытой теплоты и полагаетъ предѣлъ количеству образовавшагося льда. Означивъ чрезъ c удѣльный теплородъ льда, чрезъ l число единицъ теплоты, освобождаемыхъ при замерзаніи отнаго грамма воды чрезъ P вѣсъ воды и чрезъ $-t$ ея температуру, получимъ изъ слѣдующаго уравненія вѣсъ p образовавшагося льда.

$$pl - pct + (P - p)t + \pi Ct.$$

Этимъ уравненіемъ выражается то, что количество теплоты pl, освобожденное образовавшимся льдомъ, равно количеству теплоты $Pct + (P - p)t$, поглощенному льдомъ и оставшеюся водою для возвышенія температуры отъ $-t^\circ$ до 0°, увеличенному теплотою πCt, поглощенною сосудомъ. Мы увидимъ, что l равно 79 единицамъ теплоты. Чтобы могла замерзнуть вся масса воды, т.-е. чтобы было $p = P$, то видимъ, что это должно быть при $t = 79\ p : (cp + C\pi)$. Если пренебречь теплотою поглощенною сосудомъ, то получится $t = \frac{79}{c} = 39^\circ,5$; потому-что удѣльный теплородъ льда близокъ къ 0,5. Но вода могла быть

доведена только до—12° ниже 0°; Гэ-Люссакъ получилъ эту температуру съ помощію слоя масла.

Пониженіе температуры воды ниже 0°, не сопровождаемое ея замерзаніемъ, объясняется инерціею частицъ, которыя, одна относительно другой, находятся въ неустойчивомъ равновѣсіи; липкость воды поддерживаетъ это равновѣсіе, препятствуя частицамъ перемѣщаться, одна относительно другой, для принятія положеній, соотвѣтствующихъ твердому состоянію. Прикосновеніе кусочка льда нарушаетъ равновѣсіе частицъ, вслѣдствіе дѣйствія, производимаго уже устойчиво расположившимися частицами, на тѣ, которыя къ нимъ прикасаются. Сотрясенія, перемѣщая ихъ одну относительно другой, позволяютъ имъ повиноваться силамъ, которыя и заставляютъ ихъ правильно группироваться, между-тѣмъ какъ движеніе сообщенное бо́льшей части массы, перемѣщая всѣ частицы въ одно время, не всегда производитъ то же дѣйствіе. Сотрясенія слишкомъ сильныя также могутъ препятствовать замерзанію, потому-что весьма быстрыя движенія частицъ могутъ затруднять имъ повиноваться взаимному вліянію ихъ, одной на другую. Фактъ этотъ былъ доказанъ Депрѐ относительно чистой воды и растворовъ въ ней разныхъ солей. Съ растворомъ кали, заключающимъ 0,617 этого вещества, температура во время сотрясенія могла быть поддерживаема болѣе чѣмъ на 2° ниже точки замерзанія *). По опредѣленію, къ которому привело Депрѐ это обстоятельство, точка замерзанія есть *установившаяся и постоянная температура, обнаруживаемая въ тотъ моментъ, когда начинается переходъ изъ капельнаго состоянія въ твердое;* такая температура есть та же самая, какъ и представляемая точкою плавленія.

Можно также сохранять воду ниже 0°, заключая ее въ волосныя трубки; дѣйствія стѣнокъ трубки, затрудняя движенія частицъ, препятствуютъ ихъ относительнымъ перемѣщеніямъ Депрѐ, употребляя обыкновенныя термометрическія трубки, довелъ такимъ-образомъ воду до—20°. Такъ-какъ жидкости въ органическихъ тѣлахъ заключены въ сосуды очень волосные, то описанное явленіе объясняетъ, почему эти тѣла такъ противятся замерзанію.

229. Вода не составляетъ единственнаго вещества, которое можетъ быть поддерживаемо въ жидкомъ состояніи ниже точки за-

---

*) Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences de Paris, tome V.

мерзанія. Въ-самомъ-дѣлѣ, олово, плавящееся при 228°, можетъ быть въ жидкомъ состояніи доведено до 225°,5; фосфоръ, расплавленный подъ водою, легко достигаетъ температуры 22°, хотя точка его плавленія есть 44°. Иногда случается, что расплавленная селитра, налитая въ блюдечко изъ холодваго стекла, охлаждается ниже точки перехода своего въ твердое состояніе; когда потомъ она вдругъ принимаетъ это состояніе, то температура возвышается до упомянутой точки и этимъ внезапнымъ нагрѣваніемъ блюдечко разбивается.

230. Перемѣна объема. — Въ моментъ перехода тѣла въ твердое состояніе, происходитъ внезапная перемѣна въ его объемѣ; перемѣна эта обыкновенно обнаруживается въ сжатіи. Сюда относится напримѣръ ртуть; но есть вещества, объемъ которыхъ при этомъ увеличивается. Долгое время принимали, что только одна вода представляетъ эту особенность; послѣ Реомюръ нашелъ ее въ *чугунѣ, висмутѣ* и *сурьмѣ*. Если налить расплавленный висмутъ въ стеклянныя нагрѣтыя трубки, то онѣ лопаются, когда висмутъ становится твердымъ. Этому свойству чугунъ обязанъ тою высокою степенью совершенства, съ которою онъ воспроизводитъ тончайшія подробности формъ, въ которыя его выливаютъ. Къ этимъ металламъ надобно причислить сѣрную кислоту, соединенную съ 3 атомами воды, замерзающую между —6° и 7°, а согласно съ Эрманномъ (Ermann) сюда должно отнести также сплавъ изъ 1 части свинца, 1-й олова и 4-хъ частей висмута. Итакъ, извѣстно только 6 веществъ, кои въ своемъ жидкомъ состояніи болѣе плотны, чѣмъ въ твердомъ.

Увеличеніе объема воды при замерзаніи доказывается уже тѣмъ однимъ фактомъ, что ледъ плаваетъ на поверхности воды, слѣдовательно онъ менѣе плотенъ, чѣмъ эта жидкость. Для его плотности при 0°, Бруннеръ (Brunner) нашелъ число 0,918, такъ-что расширеніе составляетъ 0,07 объема воды при 4°. Галилей прямо изъ опыта удостовѣрился въ этомъ явленіи, а флорентинскіе академики изучили его, при опредѣленіи наибольшей плотности воды; они увидѣли, что, въ моментъ замерзанія, поверхность воды быстро поднялась въ термометрической трубкѣ, которую они употребляли для опыта. Однакожь это увеличеніе объема было позже разсматриваемо только какъ кажущееся: Гюйгенсъ, Гомбергъ (Homberg), Маріотъ и другіе приписывали его выдѣленіе воздуха изъ охлаждающейся воды; но вода, освобожденная отъ растворенваго въ ней воздуха и замороженная въ пустотѣ, обнаруживаетъ то же самое расширеніе. Мэранъ объяснялъ его тѣмъ, что маленькія ледяныя иглы перекрещиваются въ безпо-

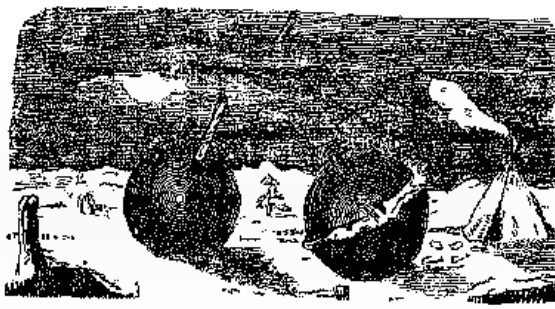
рядкъ, что производитъ потерю въ пространствѣ, такъ что кажущійся объемъ представляется менѣе дѣйствительнаго. Но эти объясненія отвергаются слѣдующими опытами, которые доказываютъ, что расширеніе воды при замерзаніи происходитъ, несмотря на самыя сильныя къ тому препятствія.

Расширительная сила льда. — Флорентинскіе академики замораживали воду въ мѣдномъ шарѣ, который до такой степени отъ этого расширялся, что не проходилъ сквозь кольцо, бывшее значительно шире его до замерзанія. Въ другомъ опытѣ этотъ шаръ треснулъ, хотя стѣнки его были очень толсты. Усиліе это опредѣлено Мушенбрекомъ болѣе чѣмъ 12,000 килограммовъ.

Гюйгенсъ тотъ же опытъ сдѣлалъ съ желѣзною трубкою. Опытъ этотъ производится теперь въ курсахъ слѣдующимъ образомъ: наполняютъ водою желѣзную трубку, для которой, напримѣръ, берутъ стволъ пистолета съ задѣланнымъ или съ плотно заткнутымъ запаломъ, потомъ, вкинтивъ въ дульное его отверстіе пробку и тѣмъ закрывъ оное, погружаютъ пистолетъ въ охлаждающую смѣсь. Спустя нѣсколько времени раздается довольно сильный трескъ и тогда оказывается, что трубка на нѣкоторомъ своемъ протяженіи треснула. Ледъ вынутый изъ трубки непрозраченъ и плаваетъ на поверхности кипящей воды. Итакъ громадное сопротивленіе желѣза не могло воспрепятствовать расширенію льда.

Маіоръ артиллеріи Эдуардъ Уильямъ, (William) будучи въ Квебекѣ, наполнилъ водою бомбу, въ 13 дюймовъ въ діаметрѣ, заткнулъ желѣзною пробкою плотно отверстіе ее и оставилъ ее на морозѣ. Спустя нѣсколько времени желѣзная пробка выскочила и отлетѣла на 400 фут., а изъ отверстія выступилъ ледяной цилиндръ въ 8 дюймовъ длины (фиг. 133). Въ другихъ опытахъ пробка удержалась на мѣстѣ, но зато треснула бомба, которую увидѣли опоясанною ледяною пластинкою, выдвинувшеюся изъ образовавшейся трещины (фиг. 134).

Фиг. 133



Этою расширительною силою льда объясняется множество явленій: отъ мороза разбиваются трубки и вообще сосуды, наполненные во-

дою. Когда же сосудъ наполненъ несовершенно, тогда на поверхности льда образуется выпуклость *a*. (фиг. 134). Когда вода замерзаетъ по всей своей глубинѣ, тогда образуются выпуклости: *a*, *c*, надъ болѣе глубокими мѣстами, и увеличеніе толщины пропорціонально глубинѣ жидкости. Въ холодныхъ странахъ, когда передъ морозомъ почва очень влажна, то она вздувается до такой степени, что поднимаетъ домы. Камни, трескающіеся отъ стужи, разсыпаются въ порошокъ, послѣ мороза: камни эти очень пористые; пропитанные водою, они когда послѣдняя замерзаетъ, отъ ея расширенія разбрасываются по всѣмъ направленіямъ. Деревья, во время сильныхъ морозовъ, отъ расширенія льда образовавшагося изъ ихъ сока, растрескиваются съ трескомъ похожимъ на выстрѣлъ изъ ружья. Подобной же причинѣ приписывается разстройство въ ткани растеній, которыя замерзая разрушаются. Однакожъ Донналь (Dunnal) видѣлъ водяныя растенія, которыя, не погибая, нѣсколько разъ замерзали и оттаивали, и микроскопъ не показалъ ему никакого знака разрушенія въ ткани растенія, умершаго отъ холода.

Фиг. 134.

Чтобъ объяснить расширеніе, происходящее во время замерзанія воды и другихъ упомянутыхъ нами веществъ, достаточно замѣтить, что ихъ частицы располагаются тогда другимъ-образомъ, правильно группируясь, какъ это показываетъ кристаллизація. Сюда не относятся вещества, обнаруживающія стеклообразное плавленіе: они, обращаясь въ твердое состояніе, сжимаются. Для воды, разсматриваемое увеличеніе объема заранѣе указывается тѣмъ расширеніемъ, которое она обнаруживаетъ ниже точки наибольшей своей плотности. Мы уже видѣли (169), что Дешрѣ доказалъ отсутствіе этого явленія въ разныхъ веществахъ, которыя переходя въ твердое состояніе сжимаются.

231. Мгновенное отвердѣваніе тѣлъ. — Когда капельная жидкость медленно переходитъ въ твердое состояніе, тогда ея частицы располагаются правильно и образуютъ кристаллы, пересѣкающіеся по всѣмъ направленіямъ. Но когда ее быстро доводятъ до температуры гораздо низшей точки этого перехода, тогда частицы ея располагаются особеннымъ, кажется менѣе правильнымъ, образомъ и свойства образующагося при этомъ твердаго тѣла не тѣ, какъ въ случаѣ медленнаго его отвердѣванія, при которомъ частицы пови-

нуются силамъ такимъ, какими онъ обнаруживаются при температурѣ точки перехода въ твердое состояніе. Напримѣръ стекло, падающее жидкими каплями въ холодную воду, образуетъ *батавскія слезки*, которыя растрескиваются въ мелкій порошокъ при отламываніи острого хвостика. Чугунъ, быстро охлажденный, образуетъ бѣлый чугунъ, а при медленномъ его отвердѣваніи получается сѣрый чугунъ Не должно удивляться этимъ разностямъ въ образѣ расположенія частицъ, если вспомнить, что твердыя тѣла, и не перемѣняя своего состоянія, представляютъ подобныя явленія, какъ это обнаруживается при *закалкѣ*.

III. Обращеніе тѣла въ жидкое состояніе посредствомъ его растворенія.

232. Переходъ въ жидкое состояніе можетъ совершиться и безъ вмѣшательства теплоты; когда твердое тѣло приводятъ въ прикосновеніе съ капельною жидкостію, тогда часто случается, что оно исчезаетъ, принимая само видъ жидкости; это выражаютъ говоря, что оно *растворилось*. Такъ въ водѣ растворяются сахаръ, соли; а въ ртути—золото, серебро.

Этому явленію часто предшествуетъ химическое соединеніе между твердымъ тѣломъ и растворяющею жидкостію; такъ-что въ сей послѣдней растворяется уже не то твердое тѣло, которое для этого употреблено, а то сложное тѣло, которое произошло отъ упомянутаго соединенія.

Когда подобное соединеніе происходитъ, тогда можетъ обнаружиться возвышеніе температуры; жидкость же при этомъ вступаетъ въ соединеніе въ опредѣленной пропорціи, какъ напримѣръ въ водныхъ окислахъ, въ соединеніяхъ воды съ нѣкоторыми солями, и проч. Когда же, напротивъ, химическое дѣйствіе не происходитъ, или когда оно совершилось ранѣе, тогда явленіе растворенія сопровождается охлажденіемъ, происходящимъ отъ поглощенія скрытой теплоты. Напримѣръ, когда растворяютъ азотнокислый аммiакъ въ водѣ при 0°, тогда температура понижается до—26°, и холодомъ, такимъ-образомъ получаемымъ, пользуются для приготовленія льда. Если въ ртуть опустить кусокъ свинца, висмута и олова, тогда они растворяются и температура понижается на 15° до 20°.

Состояніе насыщенія. — Ограниченное количество капельной жидкости не растворяетъ неограниченнаго количества даннаго веще-

ства, но наступаетъ моментъ, когда эта жидкость уже болѣе его не растворяетъ; про нее тогда говорятъ, что она *насыщена*. Состояніе насыщенія, или наибольшее количество растворенпаго вещества, вообще зависитъ отъ температуры и увеличивается иногда пропорціонально ея возрастанію, какъ напримѣръ для мало растворимыхъ солей; иногда же гораздо быстрѣе, какъ для солей весьма растворимыхъ въ водѣ. Гэ-Люссакъ измѣрилъ растворимость нѣкотораго числа солей, при постепенно возрастающихъ температурахъ. чтобъ опредѣлить количество растворенной соли, онъ взвѣшивалъ въ колбѣ часть раствора и потомъ, испаривъ изъ нея жидкость, нагрѣвалъ ее почти до каленія, послѣ чего измѣрялъ вѣсъ осажденнаго количества соли.

Изобразивъ температуры длинами линій, отсчитываемыхъ по горизонтальному направленію отъ той же постоянной точки, и представивъ количества соли, насыщающія при этихъ температурахъ 100 частей воды, ординатами, проведенными чрезъ концы первыхъ прямыхъ, получаютъ, чрезъ соединеніе оконечностей этихъ ординатъ, кривую линію, которая собою представляетъ законъ измѣненія растворимости. Для мало растворимыхъ солей, какъ для хлористаго барія, хлористаго келія, сѣрнокислаго кали, и проч., эта линія представляется прямою; въ случаѣ же весьма растворимыхъ солей, какъ для азотнокислаго кали, азотнокислаго барита, хлорноватокислаго кали, и проч получается кривая, выпуклая къ оси абсцисъ.

Есть соли, которыя представляютъ ту особенность, что ихъ растворимость до нѣкоторой температуры увеличивается, а потомъ уменьшается: такъ напримѣръ сѣрнокислый натръ обладаетъ тою же степенью растворимости при 30° и при 100° и имѣетъ максимумъ растворимости при 33°. Для сѣрнокислой извести этотъ максимумъ обнаруживается при 35°. Это кажущееся отступленіе происходитъ отъ того, что количество воды, химически соединенной съ солью, не одно и то же при разныхъ температурахъ: оно, вообще, тѣмъ менѣе чѣмъ температура выше; такъ-что при этомъ, въ дѣйствительности, растворяется въ теплой и холодной водѣ не одно и то же тѣло; поэтому именно и нѣтъ химически-соединенной воды въ сѣрнокисломъ натрѣ, когда онъ кристаллизуется при 33°, между-тѣмъ какъ при низшихъ температурахъ онъ ее въ себѣ заключаетъ. Наконецъ есть соли, растворимость которыхъ одна и та же при всѣхъ температурахъ, какъ напримѣръ морская соль.

Соли, растворенныя въ водѣ, понижаютъ точку ея замерзанія; такъ

морская вода замерзаетъ при температурѣ низшей, чѣмъ прѣсная. Понижение температуры почти пропорціонально количеству растворимой соли.

Во время замерзанія, вода стремится отдѣлиться отъ соли и потому образующіяся ледъ состоитъ изъ воды почти совершенно чистой. Такимъ-образомъ, если окрасить лакмусомъ слабый растворъ морской воды и оставить его на морозѣ, то замѣчаютъ, что на поверхности голубоватый оттѣнокъ уменьшается, а внутри массы увеличивается и вскорѣ образуется ледяная оболочка, заключающая насыщенный растворъ соли. Въ холодныхъ странахъ этимъ свойствомъ пользуются для концентрированія морской воды, изъ которой желаютъ извлечь соль

Возвращеніе растворенняго вещества въ твердое состояніе — Когда растворъ свободно испаряется, или когда его оставляютъ медленно охлаждаться, тогда, если онъ былъ насыщенный, изъ него осаждается растворенное вещество въ видѣ кристалловъ, которые покрываютъ поверхность и стѣнки сосуда, преимущественно группируясь на неровностяхъ, ими представляемыхъ Частицы, отдѣляющіяся изъ раствора, имѣютъ замѣчательное стремленіе осаждаться въ-особенности на образовавшихся уже кристаллахъ, или на изоморфныхъ кристаллахъ другаго, находящагося въ растворѣ, вещества. Это явленіе совершенно объясняется частичнымъ притяженіемъ. Оно такъ ощутительно обнаруживается, что если въ той же жидкости растворено нѣсколько солей, то ихъ можно заставить отдѣльно осаждаться на кристаллахъ своего рода. Такимъ-образомъ, если въ двухъ сосудахъ приготовить растворъ 2-хъ частей селитры и 3-хъ частей сѣрнокислаго натра въ 5-ти частяхъ воды, и если въ первый сосудъ погрузить холодный кристаллъ селитры, то на немъ будетъ осаждаться только селитра, во второмъ же сосудѣ, на погруженный въ него кристаллъ сѣрнокислаго натра, будетъ изъ раствора осаждаться одинъ сѣрнокислый натръ Основываясь на этомъ свойствѣ, можно получить большіе кристаллы, употребляя малыя количества раствора, постоянно возобновляемаго; при этомъ должно, отъ времени до времени, поворачивать кристаллъ, который хотятъ увеличить, такъ чтобъ онъ послѣдовательно лежалъ на различныхъ своихъ граняхъ Тоже явленіе представляетъ и ледъ Персонъ удостовѣрился, что масса льда при 0° безпрерывно возрастаетъ, будучи погружена въ воду поддерживаемую при той же температурѣ въ сосудѣ окруженномъ тающимъ льдомъ.

Кристаллическая вода — Есть соли, которыя кристаллизуясь увлекаютъ собою химически-соединенную съ ними воду, которая необходима для обусловливанія формы и прозрачности ихъ кристалловъ и называется *кристаллическою водою*. Для количества этой воды всегда существуетъ опредѣленная пропорція. Нѣкоторыя соли могутъ содержать ее въ различныхъ пропорціяхъ, какъ это доказалъ Гейдингеръ (Haidinger и потомъ Мичерлихъ (Mischerlich). Вообще количество этой воды тѣмъ болѣе, чѣмъ ниже температура, при которой произошло кристаллизованіе. Солянокислая окись цинка можетъ такимъ-образомъ заключать три различныя пропорціи кристаллической воды. Каждой пропорціи соотвѣтствуетъ особенная кристаллическая форма, чему не должно удивляться, потому-что въ сущности это разныя тѣла, которымъ принадлежатъ эти формы.

Отъ дѣйствія теплоты кристаллическая вода исчезаетъ; иногда она бываетъ достаточно обильна, для того, чтобъ въ ней распустилась самая соль, тогда говорятъ, что происходитъ водное плавленіе послѣдней. Леграндъ Legrand заметилъ, что температура, при которой кипитъ насыщенный растворъ соли, достаточна для лишенія этой соли всей ея кристаллической воды. Впрочемъ болѣе низкая температура можетъ произвести то же дѣйствіе; есть даже такія соли, которыя при обыкновенной температурѣ освобождаютъ изъ себя эту воду; при этомъ онѣ теряютъ свою прозрачность и разсыпаются въ порошокъ; ихъ называютъ *выветривающимися*.

Пониженіе температуры ниже точки насыщенія — Насыщенный растворъ можетъ быть пересыщенъ, безъ осажденія изъ него кристалловъ. Для этого достаточно, чтобъ онъ былъ заключенъ въ сосудъ, хорошо полированный, оставленный въ совершенномъ покоѣ и защищенный отъ всякаго движенія въ воздухѣ. Растворъ сѣрнокислаго натра или углекислаго натра, такимъ-образомъ можетъ, не кристаллизуясь, быть охлажденнымъ до температуры гораздо низшей той, при которой онъ оказывается насыщеннымъ. Сотрясеніе или погруженіе въ него кристалла той же соли, тотчасъ же производитъ кристаллизацію и заставляетъ *температуру вдругъ подняться до точки соотвѣтствующей насыщенію*. Есть обстоятельства, которыя страннымъ образомъ способствуютъ происхожденію этого явленія. Положимъ, что насыщенный растворъ сѣрнокислаго натра заключенъ въ стеклянный резервуаръ, оканчивающійся трубкою съ оттянутою оконечностію которая запаяна во время кипѣнія раствора, такъ-что внутри воздуха не осталось охлажденіе оказывается недостаточнымъ для кри-

сталлизованія соли, по лишь-только разбиваютъ трубку резервуара, то немедленно обнаруживается кристаллизація и въ то же время освобождается теплота, изъ скрытой сдѣлавшаяся явною. Можно было предполагать, что эти перемѣны въ состояніи раствора зависятъ отъ давленія воздуха; но если, вмѣсто-того чтобы запаивать трубку, довольствуются тѣмъ, что на поверхность раствора наливать слой масла или терпентинной эссенціи, какъ это сдѣлалъ Гэ-Люссакъ, то кристеллизація не происходитъ и, напротивъ, она немедленно обнаруживается, если только вдуваютъ воздухъ сквозь слой масла; слѣдовательно надо ее приписать прикосновенію этого газа. Кислородъ также въ высокой степени обладаетъ свойствомъ вызывать кристаллизацію; между-тѣмъ какъ азотъ совершенно безсиленъ ее произвести. Пересыщеніе не согласуется съ сродствомъ соли къ растворяющей ее жидкости, потому-что соли, имѣющія малое сродство къ водѣ, могутъ гораздо легче пересыщаться, чѣмъ тѣ, которыя къ этой жидкости имѣютъ большое сродство. Полагаютъ, что это явленіе происходитъ единственно отъ инерціи частицъ.

Перемѣна объема. Когда соль кристаллизуется, тогда чаще всего происходитъ увеличеніе объема. Фактъ этотъ хорошо извѣстенъ для сѣрнокислаго натра: расширительная сила этой соли, въ моментъ ея окристаллизованія, была употреблена Брердомъ (Brard), для узнанія камней трескающихся отъ стужи (pierres gélives), въ теплый насыщенный растворъ сѣрнокислаго натра онъ обмакивалъ кусокъ камня и наблюдалъ, трескается ли онъ во время кристаллизаціи, или нѣтъ. Расширеніе криоталлизующейся соли не всегда обнаруживается, потому-что жидкость, въ то же время охлаждаясь, уменьшается въ объемѣ; такъ-что, если ея сжатіе больше расширенія соли, то очевидно должно обнаружиться уменьшеніе объема. Лонгшанъ (Longchamp) нашелъ возможность опредѣлить расширеніе, происходящее при кристаллизаціи азотнокислаго натра, хлористаго калія, селитры и проч.: онъ наблюдалъ понижеціе горизонта кристаллизующаго раствора въ колбѣ, имѣющей длинное раздѣленное на равныя части горло, и сравнивалъ это пониженіе съ тѣмъ, которое вслѣдствіе охлажденія обнаруживается частію этого раствора осадившею свою соль и заключенною въ другой колбѣ; но это расширеніе незамѣтно, потому-что сжатіе жидкости больше расширенія соли. Сѣрнокислая окись мѣди, сѣрнокислый натръ при этомъ обнаруживаютъ возвышеніе горизонта; безводная соль, азотнокислый баритъ, расширяется почти на 18 процентовъ, или почти въ два съ половиною раза болѣе, чѣмъ за-

мерзающая вода; но сѣрнокислый амміакъ, напротивъ, сжимается дѣйствительно на 95 процентовъ.

234 Скрытый теплородъ при раствореніи вещества и при ослабленіи раствора. — Мы далѣе увидимъ, какъ измѣряютъ скрытый теплородъ при расплавленіи тѣлъ; весьма было бы важно сравнить его съ тѣмъ, который необходимъ для растворенія того же вещества. Но здѣсь представляется очень большое затрудненіе, по причинѣ теплоты, производимой химическимъ дѣйствіемъ, которымъ сопровождается раствореніе. Кажется естественнымъ принять, что для перевода тѣла въ капельное состояніе, посредствомъ растворяющаго дѣйствія нѣкоторой жидкости, потребно столько же теплоты, сколько расходуется при огненномъ плавленіи; и только вслѣдствіе химическаго дѣйствія, въ первомъ случаѣ должны были бы получиться числа мѣньшія, чѣмъ во второмъ. Но Персонъ нашелъ совершенно противное *): такъ для расплавленія грамма азотнокислаго кали расходуется 49 единицъ теплоты, между-тѣмъ какъ для его растворенія въ 5-ти частяхъ воды, потребно 69 этихъ единицъ; если увеличивать количество воды, то и теплоты поглощается болѣе, при растворенія того же тѣла въ 20-ти частяхъ воды, употребляется 80 единицъ теплоты. Отсюда должно заключить, что когда приливаютъ къ раствору воды, тогда каждый разъ поглощается новое количество скрытой теплоты; слѣдовательно существуетъ *теплородъ для ослабленія раствора*, un calorique de dilution, какъ его называетъ Персонъ; присоединенный къ скрытой теплотѣ плавленія, онъ поглощается растворенными частицами вслѣдствіе удаленія ихъ одна отъ другой, удаленія, происшедшаго отъ прилитія растворящей жидкости. При испытаніи морской соли оказалось, что больше исчезаетъ теплоты при разбавленіи ея раствора, чѣмъ во время самаго растворенія этого вещества, то же самое представляли соли, имѣющія малое сродство къ водѣ, какъ напримѣръ азотнокислое кали. Если же химическое дѣйствіе значительно, то теплота имъ производимая можетъ превзойти ту, которая поглощается ослабленіемъ раствора, какъ это представляетъ хлористый кальцій, который требуетъ 41 единицу теплоты для расплавленія и только 20 единицъ для растворенія. Изъ тѣлъ, не представляющихъ такихъ крайностей, должно указать на фосфорнокислый натръ, въ которомъ ослабленіе раствора и химическое дѣйствіе совершенно уничтожаютъ другъ друга, такъ-что тѣло это требуетъ

*) Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences de Paris, t. XXXVI.

одинаковое количество теплоты, какъ для расплавленія, такъ и для растворенія

IV. Измѣреніе скрытой теплоты капельнаго состоянія.

235. Нѣкогда полагали что когда тѣло достигло температуры своего плавленія, тогда, отъ малѣйшаго прибавленія теплоты, равновѣсіе его частицъ должно нарушиться и оно все разомъ должно расплавиться Но опытъ показываетъ, что плавленіе происходитъ постепенно. и Блекъ. въ 1762 году, объяснилъ это скрытою теплотою, необходимою для капельнаго состоянія; существованіе въ тѣлахъ теплоты, непроизводящей внѣшнихъ дѣйствій, онъ основывалъ на опытахъ гораздо предшествовавшихъ его открытію. академики Флоренціи наблюдали таяніе льда въ сосудѣ погруженномъ въ кипящую воду, причемъ температура льда не измѣнялась; Фаренгейтъ видѣлъ, какъ температура воды вдругъ поднималась до 0° въ моментъ замерзанія этой жидкости, бывшей при температурѣ ниже 0°. Де-Мэранъ во многомъ измѣнилъ этотъ послѣдній опытъ, оспаривая весьма распространенное тогда мнѣніе, что точка плавленія не постоянна. Боме (Beaume первый замѣтилъ, что вода сохраняетъ постоянную температуру. будучи, во время своего замерзанія, окружена охлаждающею смѣсью; отсюда онъ заключилъ, что при этомъ переходѣ изъ одного состоянія въ другое, должна выдѣляться теплота.

Докторъ Блекъ, собравъ всѣ эти факты, утвердилъ различіе между теплотою скрытою и теплотою явною Онъ также произвелъ слѣдующій опытъ приписываемый иногда Вильке (Wilcke): смѣшавъ два равные пѣса теплой воды и льда, онъ нашелъ, что температура смѣси была гораздо ниже средней. Опыты, произведенные Ландріани (Landriani), надъ металлами и въ-особенности надъ солями, позволили распространить эти результаты и на другія тѣла

Измѣреніе скрытой теплоты льда — Едва успѣвъ убѣдиться въ существованіи скрытой теплоты плавленія, Блекъ тотчасъ же приступилъ къ ея измѣренію онъ взялъ два равные шара изъ тонкаго стекла и наполнивъ одинъ изъ нихъ водою при 0°, а другой тающимъ льдомъ подвѣсилъ ихъ въ той же комнатѣ, имѣвшей температуру 8°. Но истеченіи получаса, вода перваго сосуда пріобрѣла температуру 4°, 44 вода же, происшедшая отъ таянія льда втораго сосуда, достигла той же температуры не ранѣе какъ черезъ десять съ половиною часовъ такъ-какъ теплота сообщалась обоимъ сосудамъ почти одина-

ково быстро, то Блекъ изъ этого заключилъ, что ледъ поглотилъ въ 21 разъ больше теплоты, чѣмъ воды т.-е. число единицъ этой теплоты равно $21 \cdot 4 = 84$; слѣдовательно масса льда, расплавляясь, соединилась съ 80 единицами теплоты которая и осталась въ происшедшей отъ таянія водѣ.

Блекъ еще и другимъ образомъ дѣйствовалъ онъ доводилъ воду до нѣкоторой температуры ниже 0° и находилъ вѣсъ льда, образующагося въ моментъ ея замерзанія Уравненіе n^0 86) достаетъ величину l т.-е. число единицъ теплоты, необходимое для расплавленія единицы массы льда

Блекъ употреблялъ также и способъ смѣшеній въ извѣстный вѣсъ теплой воды онъ погружалъ нѣкоторый вѣсъ льда при 0°; когда этотъ ледъ растаивалъ, тогда онъ наблюдалъ окончательную температуру θ смѣси. Означая чрезъ t температуру воды, чрезъ P ея вѣсъ, сложенный съ эквивалентомъ воды для теплоты сосуда, чрезъ p вѣсъ льда и чрезъ l его скрытый теплородъ плавленія, то для опредѣленія l имѣемъ уравненіе.

$$lp + p\theta = P(t - \theta),$$

которое выражаетъ, что lp, употребленное для таянія, вмѣстѣ съ количествомъ $p\theta$ теплоты употребленной для нагрѣванія воды, происшедшей изъ льда отъ 0° до θ° равно теплотѣ, потерянной вѣсомъ P воды, при пониженіи ея температуры отъ t° до θ°.

Уилькъ поступалъ для той же цѣли слѣдующимъ образомъ. погружалъ въ кипятокъ два стеклянныхъ сосуда, изъ коихъ первый былъ наполненъ водою при 0°, а второй снѣгомъ также при 0°, онъ сравнивалъ температуры заключенныхъ въ нихъ жидкостей, когда сосудъ полный водою нагрѣлся до 72°.

Лапласъ и Лавуазье, имѣя надобность знать скрытый теплородъ льда, для своихъ изслѣдованій надъ теплоемкостію, опредѣляли эту величину съ помощію своего калориметра (201); въ срединѣ внутреннее его пространство они помѣщали сосудъ съ горячею водою и измѣряли, сколько по вѣсу растаетъ льда, пока эта вода не охладится до 0°; для рѣшенія служитъ выше предложенное уравненіе.

Взявъ среднюю величину изъ результатовъ, найденныхъ Блекомъ, Лавуазье и Лапласомъ, Уилькомъ и Кавендишемъ, получаютъ для скрытаго теплорода льда 75 единицъ, откуда слѣдуетъ, что, если смѣшать два равные вѣса воды и льда, первую при температурѣ 76°, а второй при 0°, то весь ледъ растаетъ и смѣсь получится при темпера-

чуръ 0°. Представленные нами способы требуютъ множество предосторожностей для избѣжанія причинъ допускаемыхъ ими ошибокъ, и мы увидимъ, что число 75 значительно меньше настоящаго.

236. Новыя измѣренія скрытаго теплорода льда. — Провостэ (Provostaye) и П. Дезэнъ (P. Desains) *), для опредѣленія скрытаго теплорода таянія льда, употребляли способъ смѣшеній. Они налили воды въ калориметръ изъ весьма тонкой мѣди, взвѣшивали его и потомъ помѣщали на три деревянныхъ остроконечія. Пока одинъ изъ наблюдателей слѣдилъ за температурою термометра, другой высушилъ, между нѣкоторыми листами пропускной бумаги, кусокъ льда при 0° и вводилъ его въ калориметръ въ тотъ моментъ, когда первый наблюдатель замѣчалъ температуру, показываемую въ сотыхъ доляхъ градуса; потомъ, постоянно перемѣшивая жидкость, онъ слѣдилъ за паденіемъ показаній термометра и, въ первые моменты, означалъ каждый градусъ; когда же охлажденіе сдѣлалось медленнымъ тогда онъ записывалъ и каждую часть градуса, во все это время другой наблюдатель замѣчалъ соотвѣтствующіе моменты на хронометрѣ. Получивъ окончательную температуру калориметра, его взвѣшивали, и по увеличенію его вѣса заключали о вѣсѣ растаявшаго льда. Изъ наблюденнаго ряда понижающихся температуръ можно вычислить потерю теплоты, происходящую отъ лучеиспусканія. Принимали также во вниманіе потерю вѣса, производимую испареніемъ нѣкоторой части воды. Такимъ-образомъ Провостэ и П. Дезэнъ нашли для скрытой теплоты льда число 79.

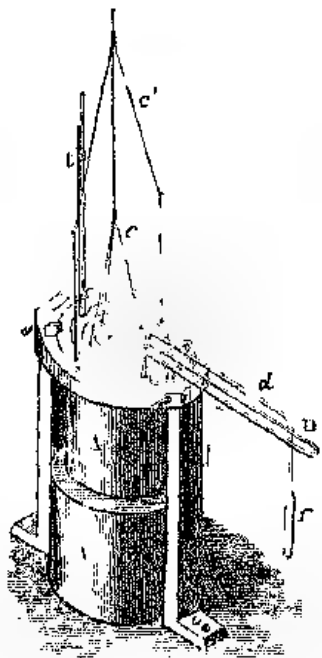
Рено почти въ то же время пришелъ къ тому же результату, употребляя или весьма сухой снѣгъ или тающій ледъ, который онъ вводилъ въ калориметръ изъ тонкой латуни, помѣщенный на трехъ деревянныхъ остроконечіяхъ въ другомъ мѣдномъ сосудѣ, служившемъ ему оберткою. Этотъ сосудъ былъ снабженъ металлическими стержнями, прикрѣпленными снаружи къ его дну и соединенными сверху къ кольцу, назначенному для подвѣшиванія всей системы къ вѣсамъ.

Калориметръ-компенсаторъ Персона. Одна изъ чувствительнѣйшихъ поправокъ въ этого рода опытахъ относится къ теплотѣ, теряемой калориметромъ. Персонъ придумалъ **) весьма остроумный способъ, по которому эта потеря почти совершенно исключается, для этой цѣли вокругъ калориметра содержится средина, во всякій моментъ имѣю-

*) Annales de chimie et de physique, 3-e série, t. VIII.
**) Annales de chimie et de physique, 3-e série, t. XXVII.

щая одинаковую съ нимъ температуру. Эту средину образуетъ жестяной сосудъ A (фиг. 135) съ двойными стѣнками отдѣленными отъ калориметра пространствомъ въ 2 сантиметр. ширины, наполненнымъ воздухомъ. Промежутокъ между этими стѣнками заключаетъ воду, которой доставляютъ желаемую температуру, поднимая или опуская наружный сосудъ V, до половины наполненный горячею водою, такъ, чтобы бо́льшая или мѐньшая часть сосуда A окружалась этою водою. Сосудъ V проходитъ чрезъ отверстіе въ столѣ на которомъ стоитъ весь приборъ. Его поднимаютъ и опускаютъ посредствомъ помѣщенной внизу зубчатки, приводимой въ движеніе зубчатой шестерней. Въ калориметрѣ, равно какъ и въ окружающей его срединѣ, для размѣшиванія воды, находятся мѣшалки, подвѣшенныя къ веревкамъ c, c' и правильно приводимы въ движеніе часовымъ механизмомъ. Для удостовѣренія въ равенствѣ между температурами этой средины и калориметра, служитъ воздушный дифференціальный термометръ D, который, однимъ изъ своихъ весьма удлиненныхъ резервуаровъ, погружается въ калориметръ, а другимъ въ эту средину и такимъ-образомъ занимаетъ всю ихъ глубину. Осторожно поднимая сосудъ V удерживаютъ индексъ дифференціальнаго термометра въ постоянномъ положеніи. Еслибъ не было потери теплоты чрезъ крышку термометра, то индексъ должно было бы удерживать на нулѣ, но, вслѣдствіе этой потери, температуру въ калориметрѣ надобно содержать нѣсколько ниже, чѣмъ въ окружающей его срединѣ. Разность эта опредѣляется изъ предварительныхъ опытовъ, которые заключаются въ томъ, что калориметръ наполненный горячею водою, содержатъ въ строго-постоянной температурѣ показываемой термометромъ t и наблюдаютъ, какую разность должно имѣть, для каждой постоянной температуры термометра, или, лучше сказать, для каждаго ея избытка надъ температурою окружающаго воздуха, для

Фиг. 135.



того чтобы показаніе термометра t не перемѣнялось. Такимъ-образомъ составляютъ таблицу для положеній индекса, соотвѣтствующихъ разнымъ послѣдовательнымъ избыткамъ. Для показанія же сихъ послѣднихъ, употребляется другой дифференціальный термометръ d, одинъ изъ резервуаровъ котораго погружается въ калориметръ, а другой r въ сосудъ, наполненный водою, имѣющею температуру окружающаго воздуха. Очевидно, что когда калориметръ холоднѣе воздуха, тогда положеніе индекса должно быть такое, чтобы температура воздуха содержалась выше той, какую имѣетъ средина A.

Этимъ способомъ Персонъ измѣрилъ скрытый теплородъ льда, взятаго при температурѣ ниже 0°; нужно было принять еще во вниманіе теплоту, которая была необходима для нагрѣванія его до нуля. Такимъ-образомъ онъ узналъ, что, для перехода отъ — 2° до 0° потребно двѣ единицы теплоты, что составляетъ единицею болѣе того количества теплоты, которое соотвѣтствуетъ теплоемкости льда почти равной 0,5. Этотъ избытокъ поглощенной теплоты происходитъ отъ размягченія, предшествующаго переходу въ жидкое состояніе, размягченія требующаго нѣкотораго количества теплоты и начинающагося только отъ — 2°, потому-что при болѣе низкихъ температурахъ всегда находятъ туже величину для его теплоемкости. Принимая во вниманіе это обстоятельство, Персонъ находитъ 80 единицъ теплоты необходимой для таянія льда и, слѣдовательно, считаетъ это число настоящимъ скрытымъ теплородомъ льда. Число 79 соотвѣтствуетъ поглощенію теплоты начавшемуся при 0°, если размягченіе, происходящее до этой точки, во вниманіе не принимается.

237. Удѣльный теплородъ льда. — Въ предъидущихъ опытахъ требуется знаніе удѣльнаго теплорода воды въ ея твердомъ состояніи. Множество опытовъ было произведено для опредѣленія этого элемента. Клеманъ и Дезормъ употребляли два способа, которые предполагаютъ извѣстнымъ скрытый теплородъ плавленія; въ одномъ они погружаютъ въ воду при 0° извѣстный вѣсъ льда при $-t^{\circ}$. Этотъ ледъ отнимаетъ отъ окружающей его воды теплоту и вѣсъ его увеличивается прибавленіемъ слоевъ льда, образовавшагося изъ этой жидкости, до-тѣхъ-поръ, пока температура употребленнаго льда, отъ выдѣленія скрытой теплоты замерзшей воды, не поднимется до 0°. Удѣльный теплородъ c льда тогда получается изъ уравненія $ctP=pl$, въ которомъ P есть вѣсъ употребленнаго льда, p вѣсъ образовавшагося льда и l его скрытая теплота.

Другой способъ заключается въ томъ, что въ горячую воду по-

гружаютъ ледъ при t°. Если T есть температура этой воды, p ея вѣсъ, увеличенный эквивалентомъ воды для теплоты сосуда, и θ окончательная температура, замѣченная въ тотъ моментъ, когда весь ледъ растаялъ, то для опредѣленія c получимъ уравненіе $pT-\theta=P(ct+l+\theta)$, которое выражаетъ, что количество теплоты, потерянное калориметромъ, равно тому, которое получилъ ледъ для своего перехода отъ t° до 0°, вмѣстѣ съ тѣмъ, которое было необходимо для его расплавленія и, наконецъ, вмѣстѣ съ тою теплотою, которую должна была поглотить вода, происшедшая изъ льда, чтобъ нагрѣться отъ 0° до θ°.

Персонъ занялся этими опытами, для которыхъ употребилъ три разныхъ способа; первые два суть тѣ, которые мы только-что описали; изъ нихъ первый найденъ имъ ошибочнымъ, потому-что въ немъ происходитъ безпрерывное образованіе льда, какъ это мы уже видѣли (231); такъ-что вѣсъ замерзшей воды тѣмъ болѣе, чѣмъ дольше продолжается опытъ. Третій способъ заключается въ наблюденіи охлажденія, причиняемаго льдомъ имѣющимъ температуру—t° въ жидкости, въ которой онъ, не расплавляясь, нагрѣвается. Ледъ этотъ былъ заключенъ въ цилиндрическую бутылку изъ весьма тонкой мѣди, въ которой была заморожена вода. Термометръ съ длиннымъ резервуаромъ, показывалъ его температуру Бутылка помѣщалась въ футляръ изъ тонкой мѣди, закрытый пробкою, чрезъ которую проходилъ стержень термометра. Этотъ футляръ, имѣвшій весьма тонкія ножки, былъ погруженъ въ охлаждающую смѣсь истолченныхъ соли и льда, помѣщенную въ нѣсколько сосудовъ, заключенныхъ одинъ въ другомъ и имѣвшую температуру—20°, которая, во все время перемѣшиванія разныхъ ея слоевъ, показывалась термометромъ. Бутылка потомъ погружалась въ калориметръ, заключавшій или соленую воду, или терпентинную эссенцію, теплоемкости которыхъ заранѣе были опредѣлены. Въ данные опыты была введена поправка, относящаяся къ теплотѣ, поглощенной бутылкою во время перенесенія ея изъ охлаждающей смѣси въ калориметръ; величина этой поправки простиралась до 6-ти единицъ теплоты. Такимъ-образомъ Персонъ нашелъ, что $c=0,5$.

Позже, узнавъ вліяніе размягченія льда, начинающагося отъ -2°, онъ снова принялся за эти опыты, употребляя для нихъ свой калориметръ-компенсаторъ (фиг. 135) и заботясь о томъ, чтобы во время опыта температура не поднималась выше -2°. Тогда, для удѣльнаго теплорода льда, между—21° и—2°, онъ нашелъ число 0,48, чувстви-

тельно меньшее, чѣмъ то, которое до того времени было принято и которое увеличено скрытою теплотою, поглощаемою при размягченіи, происходящемъ около точки плавленія

Почти около того же времени Дезёнъ производилъ весьма тщательные опыты надъ теплоемкостію льда по способу смѣшеній, расплавляя его въ данномъ вѣсѣ воды, или же оставляя его нагрѣваться въ терпентинной эссенціи Среднее число, найденное имъ по первому способу, было 0,513, а по второму 0,46.

238. Приложенія.—Значительное количество теплоты необходимое для растаянія льда, играетъ въ природѣ большую роль. Когда отъ сильнаго холода замерзаютъ воды озеръ и рѣкъ, тогда ихъ температура не падаетъ ниже 0°, пока замерзаніе не распространилось по всей ихъ глубинѣ. Отсюда слѣдуетъ, что холодъ не такъ силенъ въ сосѣдствѣ большихъ массъ воды. Органическія вещества, будучи обернуты мокрымъ полотномъ, предохраняются до-тѣхъ-поръ отъ замерзанія, пока не обратится въ ледъ вся вода, которою это бѣлье пропитано. Во время оттепели, температура воздуха въ нѣкоторой высотѣ можетъ быть 10° выше той, какую имѣетъ нижній его слой, который, прикасаясь къ тающему льду на поверхности почвы, остается при нулѣ до-тѣхъ-поръ, пока весь этотъ ледъ не растаетъ.

Во время жестокой зимы 1740 года, изъ льда рѣки Невы, въ Петербургѣ, былъ построенъ изящной архитектуры дворецъ, въ 56 футовъ длины: въ немъ давались празднества и несмотря на это, стѣны его не растаивали отъ теплоты, скоплявшейся внутри его. Изъ ледяныхъ блоковъ выдѣланы были 6 пушекъ, трехъ-фунтоваго калибра, съ лафетами; изъ нихъ стрѣляли желѣзными ядрами и они не разрывались, хотя толщина ихъ стѣнъ была только 4 дюйма. Въ Сибири окна дѣлаются изъ ледяныхъ пластинокъ, и онѣ не растаиваютъ, потому-что наружный холодъ уравновѣшиваетъ внутреннюю теплоту.

239. Скрытый теплородъ металловъ, и проч. Чтобы получить скрытый теплородъ, необходимый для перехода въ жидкое состояніе твердыхъ тѣлъ, отличныхъ отъ льда, то ихъ расплавляютъ и потомъ находятъ количество теплоты, выдѣляемое ими при отвердѣваніи. Употребляютъ при этомъ способъ смѣшеній. Пусть, напримѣръ, p вѣсъ расплавленнаго металла, P вѣсъ воды вмѣстѣ съ эквивалентомъ воды для теплоты калориметра, котораго температура есть t, e окончательная температура смѣси, c удѣльный теплородъ металла въ твердомъ состояніи, а l его скрытый теплородъ; для опредѣленія l получимъ уравненіе

$$lp + pc\ T - 0 = P\ (0 - t),$$

гдѣ T есть температура расплавленнаго металла, когда его вливали въ калориметръ. Если пода дѣйствуетъ на испытываемое вещество, то его заключаютъ въ металлическій сосудъ, и тогда послѣдній принимается во вниманіе. На практикѣ этотъ способъ представляетъ большія трудности, въ-особенности при весьма возвышенной T и причины этого заключаются въ значительномъ возвышеніи температуры калориметра, въ потерѣ имъ теплоты черезъ прикосновеніе къ окружающей средѣ, въ поглощеніи теплоты парами, освобождающимися въ моментъ прикосновенія къ расплавленному тѣлу, и наконецъ въ потерѣ теплоты, обнаруживаемой этимъ тѣломъ въ то время, когда его переносятъ въ калориметръ. Впрочемъ на этотъ предметъ существуетъ мало опытовъ. Рудбергъ опредѣлялъ скрытый теплородъ нѣсколькихъ металловъ и сплавовъ, употребляя при этомъ способъ охлажденія; онъ наблюдалъ сколько времени употребляетъ тигель, наполненный расплавленнымъ металломъ, для пониженія своей температуры на 10°, между которыми заключалась точка перехода металла въ твердое состояніе и сравнивалъ это время съ тѣмъ, которое, при тѣхъ же условіяхъ температуры, лучеиспускающей поверхности и окружающей средины, потребно для тогоже тигля, наполненнаго ртутью, чтобы свою температуру понизить также на 10°. Въ 1840 году, Дюпре показалъ тѣ многочисленныя предосторожности, которыя должно наблюдать, чтобы во способу смѣшеній достигнуть точныхъ результатовъ *); но онъ не объявилъ численныхъ своихъ выводовъ. Наконецъ Дезсну обязаны изслѣдованіями надъ скрытымъ теплородомъ плавленія фосфора и надъ его удѣльнымъ теплородомъ въ твердомъ и жидкомъ состояніи

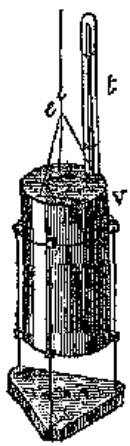
240. Опыты Персона. — Наука обладала весьма малымъ числомъ данныхъ въ отношеніи къ скрытому теплороду плавленія, когда Персонъ публиковалъ свои многочисленные опыты, которые его привели къ открытію весьма замѣчательнаго закона **), показывающаго отношеніе между скрытымъ теплородомъ тѣлъ и ихъ удѣльнымъ теплородомъ въ твердомъ и жидкомъ ихъ состояніяхъ Чтобъ вывести этотъ законъ, ему пришлось опредѣлять удѣльный теплородъ боль-

*) Comptes rendus, des séances de l Académie des sciences de Paris t. XI.
**) Annales de chimie et de physique, 3-e série, t. XXI, XXII, XXVII.

наго числа тѣлъ не въ томъ ихъ состояніи, въ какомъ они обыкновенно представляются.

Методъ опытовъ.—Персонъ употреблялъ способъ смѣшеній. Калориметръ его состоитъ изъ цилиндрическаго сосуда *v* фиг. 136), на днѣ котораго укрѣпленъ треножникъ, назначенный для поддержанія погруженнаго въ него тѣла. Термометръ *t* показываетъ температуру ванны, въ которой часовымъ механизмомъ приводится въ правильное движеніе кольцеобразная мѣшалка, поддерживаемая тремя шнурами, проходящими чрезъ крышку, назначенную для того, чтобы препятствовать испаренію.

фиг. 136.



Термометръ *t* устроенъ съ расширеніемъ, такъ что, заключая обѣ свои постоянныя точки, онъ доставляетъ градусы длиною около 15-ти миллиметровъ (20). Показанія его исправлялись отъ ошибки, производимой непогруженною его частью (81): величина этой поправки была близка къ $\frac{1}{100}$ градуса.

Чтобы имѣть окончательную температуру калориметра, то, съ помощію зрительной трубы, слѣдили за ходомъ термометра, наблюдая его показанія въ моменты, замѣченные на хронометрѣ и слѣдовавшіе очень близко одинъ за другимъ. Такимъ-образомъ температура въ моментъ погруженія, съ бо́льшею степенью точности, опредѣлялась или интерполированіемъ, или изъ графическаго построенія ряда замѣченныхъ температуръ.

Когда температура ванны измѣняется быстро, тогда она всегда нѣсколько упреждаетъ показанія термометра; для измѣренія этого упрежденія производились предварительные опыты, которые состояли въ томъ, что въ калориметръ наливали немного горячей воды и размѣшивая послѣднюю правильнымъ движеніемъ мѣшалки, наблюдали время, употребляемое термометромъ для принятія температуры ванны. Въ опытахъ Персона это время простиралось до 3 или 4-хъ десятыхъ минуты. Кромѣ-того нужно сдѣлать поправки, относящіяся къ непогруженной части ртутной колонны термометра, и къ теплотѣ, теряемой или пріобрѣтаемой калориметромъ, вслѣдствіе лученспусканія теплоты и прикосновенія къ наружному воздуху; эта послѣдняя была тщательно опредѣлена. Позже Персонъ съ большою пользою употребилъ свой калориметръ-компенсаторъ (236), который эту поправку дѣлаетъ лишнею.

Обыкновенно испытываемое вещество было заключаемо въ бутыль

изъ тонкой мѣди и резервуаръ термометра занималъ ея средину. Эта бутыль обертывалась футляромъ также изъ тонкой мѣди и погружалась или въ разные кипящіе растворы, или въ ванну, состоявшую изъ нѣсколькихъ, заключавшихся одинъ въ другомъ, сосудовъ; температуры средины доводили до желаемой высоты. Когда желали получить теплоемкость вещества въ жидкомъ его состояніи, то его расплавляли и погружали въ калориметръ, гдѣ оно охлаждалось такъ слабо, что сохраняло это состояніе.

241 Формула, показывающая зависимость между теплоемкостями того же вещества и его скрытымъ теплородомъ. Изъ разныхъ теоретическихъ разсужденій, Персонъ вывелъ слѣдующее выраженіе скрытой теплоты плавленія: $l=(n+t)(C-c)$, гдѣ t температура плавленія, C и c удѣльные теплороды тѣла въ жидкомъ и въ твердомъ его состояніяхъ и n постоянная величина. Эта формула показываетъ, что *скрытый теплородъ плавленія равенъ разности удѣльныхъ теплородовъ тѣла въ двухъ его состояніяхъ, повторенной столько разовъ, сколько заключается градусовъ отъ точки плавленія до числа n градусовъ ниже нуля.* Постоянное число n опредѣляется изъ предложенной формулы, въ которую для этого вставляютъ величины C, c, l, и t полученныя непосредственно изъ наблюденія. Опыты, произведенные надъ весьма различными неметаллическими веществами, показали, что n для всѣхъ ихъ одно и тоже и равно числу 160. Это подтверждается тѣмъ, что количество l, опредѣляемое изъ формулы $l=(160+t)(C-c)$, всегда оказывается равнымъ тому, которое получается прямо изъ опыта. Вотъ результаты найденные Персономъ:

Имена веществъ.	Точка плавленія.	Удѣльный теплородъ въ состояніи		Скрытый теплородъ.	
		твердомъ	жидкомъ.	найден.	вычислен.
Вода	0°	0,504	1,0000	79,25	79,20
Фосфоръ.....	44°,2	0,1788	0,2045	5,034	5,243
Сѣра	115°	0,20259	0,234	9,388	9,350
Азотно-кислый натръ ..	310°,5	0,27821	0,413	62,975	63,4
Азотно-кислое кали....	339°	0,23875	0,33186	47,371	46,462

Отсюда видимъ, что результаты найденные изъ опыта достаточно согласны, сколько это возможно, съ тѣми, которые доставляются формулою, въ-особенности если вспомнить, что теплоемкости преимущественно капельныхъ жидкостей, съ измѣненіемъ температуры измѣняются.

Измѣненіе скрытаго теплорода съ измѣненіемъ температуры. Формула Персона указываетъ еще на другое обстоятельство— на то, что скрытый теплородъ зависитъ отъ температуры, при которой происходитъ отвердѣваніе тѣла. Напримѣръ, если, передъ моментомъ замерзанія, вода была доведена до температуры—10°, то освобождающійся скрытый теплородъ не равенъ 79 единицамъ, но, вычисленный по формулѣ $160-t)(C-c$, онъ оказывается равнымъ 74 единицамъ теплоты, ибо въ этой формулѣ $C=1$, $c=0,5$ и $t=-10$. Такъ это и должно быть. Дѣйствительно, чтобы одинъ граммъ льда при $-t^\circ$ превратить въ воду при 0°, должно въ началѣ льду сообщить ct единицъ теплоты, для того чтобы его нагрѣть до 0°, гдѣ c есть теплоемкость льда, потомъ, чтобъ ледъ могъ растаять, ему еще должно сообщить 79 единицъ теплоты, такъ что всего $ct+79$. Теперь еслибъ мы желали эту воду снова имѣть въ первоначальномъ ея состояніи льда при $-t^\circ$, то очевидно, отъ нея должно было бы отнять это самое количество $ct+79$ теплоты; но еслибъ, передъ измѣненіемъ ея состоянія, мы предварительно ее охладили до $-t^\circ$, то ей потребовалось бы отнять Ct единицъ теплоты, гдѣ C удѣльный ея теплородъ въ жидкомъ ея состояніи; такъ что, при замерзаніи, она выдѣлитъ изъ себя остатокъ $(ct+79,-Ct$ количества теплоты и потому скрытый теплородъ l' при $-t^0$ выразится формулою:

$$l'=ct+79-Ct=79-t(C-c)=\left(\frac{79}{C-c}-t\right)(C-c;$$

это согласно съ общею формулою, если давать t принадлежащій знакъ. Здѣсь предполагается, что теплоемкость жидкости, ниже ея точки замерзанія, остается тою же самою. Справедливость этого Персонъ повѣрилъ для воды, доказавъ, что она сохраняетъ правильность своего охлажденія, по переходѣ черезъ нуль, оставаясь въ жидкомъ состояніи до — 7°. Это заключеніе подтверждается тѣмъ фактомъ, что для соленой воды, выше и ниже нуля, удѣльный теплородъ одинъ и тотъ же; величина же сего послѣдняго, какъ это мы знаемъ, всегда есть средняя между удѣльными теплородами воды и соли, разсматриваемыхъ отдѣльно.

Персонъ также повѣрилъ эту формулу на хлористомъ кальціѣ,

фосфорнокислом натрѣ и на двухъ-азотнокислой соли натра и кали.

Кристаллизаціонная вода фосфорнокислаго натра имѣетъ одинаковую теплоемкость, какъ и ледъ (205); кромѣ-того, скрытый ея теплородъ тотъ же самый, какимъ обладалъ бы ледъ отдѣльно взятый при температурѣ ея замерзанія. Температура плавленія двухъ-азотнокислой соли кали и натра, ниже точекъ плавленія этихъ двухъ, отдѣльно взятыхъ, составляющихъ ея солей, и ея скрытый теплородъ, полученный чрезъ сложеніе скрытыхъ теплородовъ этихъ солей, вычисленныхъ, по предыдущей формулѣ для температуры плавленія двойной соли, оказывается согласнымъ съ тѣмъ, что получается прямо изъ опыта.

Воскъ, который плавится при 61°, имѣетъ для своего скрытаго теплорода число 42, 3, между-тѣмъ какъ по формулѣ это число оказывается 15,6. Спермацетъ, плавящійся при 12°,7, имѣетъ скрытый теплородъ равный 47,8, между-тѣмъ какъ формула даетъ 29,2. Эти разногласія происходятъ отъ того, что упомянутыя тѣла размягчаются гораздо ранѣе точки своего плавленія, и что ихъ скрытый теплородъ плавленія смѣшивается, на столь значительномъ протяженіи термометрической шкалы, съ ихъ удѣльнымъ теплородомъ, что нельзя его измѣрить съ достаточною точностію. Металлы находятся при другихъ особенныхъ условіяхъ, которыми мы потомъ займемся. Теперь мы покажемъ, какое толкованіе можно дать формулѣ Персона

242. Физическій смыслъ этой формулы. Уравненіе $(160+t)(C-c)=l$ можетъ быть выражено въ такомъ видѣ $160+t)c+l=(160+t)C$, который показываетъ, что *количество теплоты, выдѣляемое изъ жидкой массы, при пониженіи ея температуры на* 160° *ниже нуля, можетъ быть вычисляемо такъ, какъ еслибъ эта масса оставалась жидкою и сохраняла тотъ же удѣльный теплородъ;* вычисляемое такимъ-образомъ количество теплоты и представляется именно второю частію этого уравненія. Напримѣръ, для пониженія температуры 1$^{gr.}$ воды отъ 0° до — 160°, изъ сей послѣдней должно выдѣлить 160 единицъ теплоты, какъ еслибъ она оставалась жидкостію; въ-самомъ-дѣлѣ, это количество теплоты, вычисляемое обыкновеннымъ способомъ, представляется чрезъ $l+c\times 160$, положивъ здѣсь $l=79,25$, и $c=0,504$, находятъ число 159,89, которое едва разнится отъ 160. Точно также, чтобъ перевести температуру 1$^{gr.}$ ѣсры отъ — 160° до + 140°, т.-е. на разность равную

300° градусовъ, въ предположеніи, что сѣра постоянно оставалась *въ жидкомъ состояніи*, то потребовалось бы 300 . 0,234 = 70,2 единицъ теплоты, принимая удѣльный ея теплородъ C равнымъ 0,234. Вычисляя же по обыкновенному способу, т.-е. присоединяя къ теплотѣ, поглощенной отъ — 160° до точки плавленія, скрытый теплородъ плавленія, равно какъ и ту теплоту, которая поглощается при переходѣ отъ точки плавленія до 140°, — находятъ число 70,7, которое отличается на $\frac{1}{100}$ отъ величины найденной предъидущимъ вычисленіемъ

Замѣтимъ, что, еслибъ вмѣсто — 160°, начинали отъ какой-нибудь другой температуры, то не оказалась бы подобная тожественность въ результатахъ Итакъ, съ этой точки зрѣнія, число 160 представляетъ что-то совершенно особенное, независимо отъ того, что въ разсматриваемой формулѣ эта постоянная величина остается одною и тою же для всѣхъ веществъ. Персонъ разсматриваетъ 160° какъ самую низкую температуру тѣлъ, при которой тѣла уже не заключаютъ болѣе теплоты, и потому представляющую собою точку *абсолютнаго нуля*.

243. Объ абсолютномъ нулѣ.—*Чтобъ узнать полное количество* x теплоты, заключающейся въ тѣлѣ, достаточно узнать его отношеніе r и его разность cl съ неизвѣстнымъ количествомъ y теплоты, которую заключаетъ другое тѣло ибо изъ выраженій $\frac{x}{y} = r$ и $x + y = d$, исключая y, можно было бы вывести величину x. Отношеніе же полныхъ количествъ теплоты въ двухъ тѣлахъ было бы то же, что и отношеніе удѣльныхъ теплородовъ этихъ тѣлъ, какъ это принималъ Ирвинъ, еслибы сіе послѣднее для всѣхъ температуръ оставалось постояннымъ, но, хотя оно и мѣняется, однако такъ слабо что, если взять интервалъ 300° и, основываясь на предполагаемой пропорціональности, вычислить количества теплоты, заключенныя въ различныхъ тѣлахъ то ошибка окажется очень малою Напримѣръ, для веществъ поименованныхъ въ таблицѣ 204-й, наибольшая ошибка составляетъ только 0,1 истинной величины. Ограничиваясь 200°, получаютъ ошибку, мѣньшую чѣмъ половина той, которая обнаруживается для 300°, а ниже нуля, она будетъ еще меньше, потому-что перемѣны въ теплоемкостяхъ значительнѣе при высокихъ температурахъ. Такимъ-образомъ, означивъ чрезъ c и c', теплоемкости двухъ сравниваемыхъ тѣлъ, можемъ принять $x : y = c : c'$. Для полученія разности между x и y, возьмемъ воду и ледъ, для которыхъ очевидно имѣемъ $x - y = l = 79$. Пропорція $x : y = c : c'$

приложима также къ случаю воды и льда, ибо вода, оставаясь жидкою ниже нуля, сохраняетъ, какъ это мы видели, тотъ же самый удѣльный теплородъ. Сверхъ-того можно непосредственно доказать, что полныя количества теплоты, заключающіяся въ 1гр. воды и въ 1гр. льда, между 0° и —160° относятся между собою какъ теплоемкости воды и льда. Въ-самомъ-дѣлѣ, эти количества суть 160 и 100. $c+l$, гдѣ c теплоемкость льда. Но уравненіе $(160+l)c'=c=l$ обращается въ $160c'+l=160C$, если въ немъ l положить $=0$ и чрезъ C выразить теплоемкость воды, такъ-что $160c'=160c+l=c\ C$; откуда заключаемъ, что разсматриваемая пропорціональность справедлива до —160°, то же самое можно принять и для температуръ мало-различающихся отъ сей послѣдней. Итакъ для воды и льда получимъ.

$$x:y=c\ c',\ \text{и}\ y=x-l;$$

положивъ $c'=1$, $c=0,5$ и $l=79,2$, найдемъ $x=80,4$ и $y=159,6$ что показываетъ, что 1гр. воды при 0° заключаетъ около 160 единицъ теплоты, а 1гр. льда—80 такихъ единицъ.

Пропорція $\frac{x}{y}=\frac{c}{c'}$ выражаетъ, что если x есть полное количество теплоты, заключенное въ другомъ тѣлѣ при 0° и c его теплоемкость въ твердомъ состояніи, то $x=\frac{y}{c'}c$ или $x=160\ c$; такъ что если отъ тѣла взятаго при 0° отнять 160 разъ количество теплоты, способное измѣнять его температуру на 1°, то оно уже не будетъ болѣе заключать въ себѣ теплоты, т-е оно достигнетъ *абсолютнаго нуля*. Къ этимъ выводамъ Персонъ присоединилъ весьма замѣчательное сближеніе: небесныя пространства, если отъ нихъ отнять дѣйствіе солнечной теплоты, то онѣ будутъ обладать температурою очень близкою къ абсолютному нулю, потому-что чрезъ нихъ проходили бы только чрезвычайно слабые лучи, отъ звѣздъ находящихся на безмѣрно-большомъ разстояніи. Мы увидимъ, что Пулье въ-самомъ-дѣлѣ нашелъ число —160° для температуры планетныхъ пространствъ, по вычетѣ дѣйствія солнечной теплоты.

Желательно было бы, чтобъ достигли до того, что могли бы получать температуру —160° или даже еще болѣе низкую; тогда тѣла, если только они дѣйствительно могутъ быть лишены всей своей теплоты, по всей вѣроятности обнаружили бы совершенно непредвидѣнныя явленія подъ вліяніемъ единственной силы сцѣпленія; частицы ихъ сблизились бы до соприкасанія и нельзя предсказать, что про-

изошло бы тогда Можетъ-быть было бы кстати указать здѣсь на явленіе сильнаго взрыва, которое, по наблюденію Шено (Chenot), обнаруживается серебромъ, обращеннымъ въ порошокъ и подверженнымъ, посредствомъ гидравлическаго пресса, давленію въ 300 атмосферъ, тѣмъ болѣе, что сжатіе производитъ на тѣла дѣйствія, подобныя тѣмъ, которыя обнаруживаются отъ охлажденія.

Болѣе полувѣка тому назадъ, физики пытались вычислить количество теплоты, заключенное въ тѣлахъ и положеніе абсолютнаго нуля, или по-крайней-мѣрѣ они считали возможнымъ получить эти результаты. Одинъ изъ первыхъ былъ Ирвинъ, который старался рѣшить эту задачу, принимая, какъ это мы видѣли выше, что количества теплоты, заключенныя во льду и въ водѣ, относятся между собою какъ ихъ теплоемкости, и полагая, что разность между этими теплоемкостями равна скрытому теплороду, что̀ далеко отъ истины. Кроуфортъ и Дальтонъ также занимались этимъ вопросомъ. Клеманъ и Дезормъ полагали точку абсолютнаго нуля при — 267°, потому-что газы расширяются на $\frac{1}{267}$ часть своего объема при 0°, такъ-что если температура ихъ будетъ понижена до — 267°, то сжатіе будетъ равно объему, т.-е. объема этого существовать не будетъ. Съ другой стороны, если нагрѣть газъ до 267°, то его объемъ удвоивается, они же принимали за очевидное, что прибавленная при этомъ теплота равна той, которая заключалась въ первоначальномъ объемѣ.

244. Скрытый теплородъ металловъ и сплавовъ. — Законы, которыми мы занимались, относятся къ тѣламъ не металлическимъ. Персонъ измѣрилъ теплоемкости капельнаго состоянія нѣсколькихъ металловъ и различныхъ сплавовъ, которыхъ точки плавленія хорошо опредѣлены. Начинаемъ съ таблицы полученныхъ имъ результатовъ; знаки Bi, Pb, Sn представляютъ атомъ висмута, свинца и олова.

Имена веществъ	Точка плавленія	Удѣльный теплородъ въ состояніи:		Скрытый теплородъ
		твердомъ.	капельн.	
Олово.....	237,7	0,05623	0,0637	14,252
Висмутъ.....	266,8	0,0308	0,0363	12,640
Свинецъ.....	326,2	0,0314	0,0402	5,369

Имена веществъ.	Точка плавленія.	Удѣльный теплородъ въ состояніи:		Скрытый теплородъ
		твердомъ.	капельн.	
Цинкъ	415,3	0,09555	»	28,13
Кадмій	320,7	0,0642	0,0567	13,66
Серебро	»	»	0,0570	21,07
Ртуть	»	»	»	2,83
Сплавъ Дарсета (Bi^3, Pb^2, Sn^2)	96°	0,0356	0,03895	4,496
Сплавъ Розе (Bi^2, Pb, Sn^2)	94°	0,049	0,04210	4,687
Bi^3, Pb^2	122,4	0,0317	0,03503	»
Bi^3, Sn^4	135,3	0,0450	0,04540	»

Изъ этой таблицы явствуетъ, что теплоемкость простыхъ металловъ почти та же въ капельномъ ихъ состояніи, какъ и въ твердомъ, что уже и было замѣчено для ртути. Маленькій избытокъ, замѣчаемый для капельнаго состоянія, опытителенъ не болѣе, какъ и увеличеніе при высокихъ температурахъ удѣльнаго теплорода металловъ, остающихся твердыми (204). Отсюда видимъ, что здѣсь формула $(160+t)(C-c)=l$ не подтверждается, потому-что C почти равно c. Это приближенное равенство Персонъ приписываетъ несовершенно полному капельному состоянію расплавленныхъ металловъ. Однакожь, съ перемѣною точки плавленія, скрытый теплородъ металловъ мѣняется, потому-что въ сплавахъ, болѣе плавкихъ чѣмъ металлы ихъ составляющіе, скрытый теплородъ этихъ металовъ равенъ тому, который соотвѣтствуетъ точкѣ плавленія сплава и можетъ быть вычисленъ по той же формулѣ, если только ее принять за истинную и если капельное состояніе столь же совершенно, какъ и для воды, такъ-что,

$$\delta = C - c = \frac{l}{160+t}.$$

Разсмотримъ, напримѣръ, сплавъ Дарсета (Bi^3, Pb^2, Sn^2) и представимъ чрезъ δ', δ'', δ''' величины $C-c$, соотвѣтствующія атому висмута, свинца и олова. Скрытый теплородъ сплава будетъ

$$(160+96)\left(\frac{3\delta'+2\delta''+2\delta'''}{3+2+2}\right)=6,369$$

Опытъ же доставляетъ число 4,496; но Персонъ удостовѣрился, что,

во время образованія сплава, выдѣляется около 2 единицъ теплоты Придавъ эту потерянную теплоту къ 4,496, получаютъ число почти равное 6,369.

Отношеніе между скрытымъ теплородомъ металловъ и ихъ ковкостію. Мы уже рѣшили, что усиліе необходимое для отдаленія частицъ посредствомъ растяженія, т.-е. коэффиціентъ упругости, тѣмъ менѣе, чѣмъ коэффиціентъ расширенія болѣе, т.-е. чѣмъ легче частицы отдаляются отъ дѣйствія теплоты. Руководимый разсужденіями того же рода, Персонъ находитъ, что работа, произведенная теплотою для расплавленія металла, т.-е. для отдаленія частицъ связанныхъ вмѣстѣ сильнымъ сцѣпленіемъ, должна быть тѣмъ больше, а слѣдовательно должна требовать тѣмъ больше теплоты, чѣмъ болѣе самая ковкость металла, такимъ-образомъ онъ былъ приведенъ къ слѣдующему закону: *скрытые теплороды плавленія металловъ чувствительны пропорціональны коэффиціентамъ ихъ расширенія.*

Однакожъ пропорціональность эта только приближенная, что происходитъ частію отъ того, что при измѣреніи коэффиціента упругости, не сравниваютъ равные вѣсы тѣлъ, какъ при измѣреніи скрытыхъ теплородовъ Сверхъ-того скрытый теплородъ долженъ быть пропорціоналенъ не коэффиціенту упругости, но нѣкоторой функціи этого коэффиціента, представляющей работу необходимую для побѣжденія сцѣпленія частицъ, заключенныхъ въ единицѣ вѣса. Основываясь на этомъ, Персонъ представилъ отношеніе между скрытыми теплородами слѣдующею формулою:

$$l : l' = K\left(1 + \frac{2}{\sqrt{d}}\right) : K'\left(1 + \frac{2}{\sqrt{d'}}\right),$$

которая показываетъ, что скрытые теплороды относятся между собою какъ коэффиціенты упругости, увеличенные количествомъ зависящимъ отъ удѣльныхъ вѣсовъ d и d'. Въ слѣдующей таблицѣ собраны полученные результаты. Отношеніе $\frac{K}{K'}$ есть среднее изъ отношеній коэффиціентовъ упругости, полученныхъ изъ продольныхъ и поперечныхъ вибрацій металловъ, которые, для устраненія вліянія физическаго ихъ состоянія, послѣдовательно были вытягиваемы, закаливаемы или переплавляемы.

НАЗВАНІЯ металловъ.	Отношеніе $l : l'$.	Отношеніе $K : K'$.	Отношеніе $K : K'$ исправленное	НАЗВАНІЯ металловъ.	Отношеніе $l : l'$.	Отношеніе $K : K'$.	Отношеніе $K : K'$ исправленное
Цинкъ Олово	1,97	2,17	2,17	Кристалл цинкъ Висмутъ. . . .	2,22	2,28	»
Цинкъ Свинецъ . .	5,23	4,80	5,28	Цинкъ . . . . . Сплавъ Дарсета	3,68	3,67	3,67
Олово Свинецъ . .	2,65	2,20	2 42				

Предъидущая формула здѣсь хорошо подтверждается. Для цинка и олова исправленное отношеніе $K : K'$ есть то же, что и неисправленное, и это потому, что плотности этихъ металловъ равны. Для цинка и висмута, исправленіе клонилось къ нарушенію равенства отношеній, что можно приписать кристаллическому состоянію этихъ металловъ. Видимъ также, что формула прилагается къ сплаву Дарсета. Для повѣрки, Персонъ вычислилъ по этой формулѣ скрытый теплородъ кадмія и серебра, взявъ при этомъ цинкъ за основаніе сравненій; формула эта, по подстановленіи въ нее вмѣсто l', k' и d' величинъ соотвѣтствующихъ этому металлу, даетъ: $l = 0,001669\, K\left(1 + \frac{1}{\sqrt{d}}\right)$. Такимъ-образомъ онъ нашелъ числа 13,52 и 20,38; непосредственно же изъ опыта получаются 13,66 и 21,07, такъ-что согласіе по-возможности удовлетворительное. Отсюда видимъ, что зная скрытый теплородъ одного металла, можно вычислить скрытый теплородъ другаго, и такимъ именно образомъ, взявъ цинкъ за основаніе сравненій, Персонъ нашелъ для скрытыхъ теплородовъ платины и желѣза числа 38 и 60. Желѣзо есть металлъ наиболѣе сопротивляющійся и потому оно должно имѣть самое большое количество скрытой теплоты Ртуть, скрытый теплородъ которой при плавленіи равенъ 2,83, должна представлять сопротивленіе болѣе слабое, чѣмъ свинецъ, скрытый теплородъ котораго есть 5,37. Здѣсь мы видимъ другой примѣръ зависимости между количествами, которыя, съ перваго взгляда, кажутся не имѣющими никакого между собою отношенія и которыя однакожь опредѣляются одни посредствомъ другихъ. Такимъ-образомъ по звуку, производимому прутомъ, можно вычислить количество теплоты по-

требное для его расплавленія, равно какъ по этому послѣднему количеству можно заключить о звукѣ, который былъ бы произведенъ прутомъ изъ того же вещества.

245. Общая формула скрытой теплоты или плавленія.—Мы видимъ, что между металлами и тѣлами неметаллическими существуетъ ощутительная разница: скрытый теплородъ первыхъ находится въ зависимости отъ ихъ упругости, авторыхъ—отъ разности теплоемкостей въ капельномъ и въ твердомъ ихъ состояніи. Чтобы исключить то, что представляется страннымъ въ этомъ разграниченіи, Персонъ замѣчаетъ, что величина скрытой теплоты при плавленіи, для всѣхъ тѣлъ, должна быть составлена изъ двухъ членовъ: одного относящагося къ разности теплоемкостей въ двухъ состояніяхъ тѣла, а другаго къ ковкости его (*). Для металловъ разность теплоемкостей почти равна нулю, и какъ она входитъ множителемъ въ соотвѣтствующій ей членъ, то этотъ членъ исчезаетъ и скрытая теплота металловъ опредѣляется изъ отношеній:

$$l : l' = K\left(1 + \frac{2}{\sqrt{d}}\right) : K'\left(1 + \frac{2}{\sqrt{d'}}\right);$$

$$\text{откуда } l = 0{,}001669 . \left(1 + \frac{2}{\sqrt{d}}\right) K$$

по замѣненіи K', l' и d' величинами, соотвѣтствующими цинку, взятому за основаніе сравненій. Напротивъ, въ случаѣ тѣлъ неметаллическихъ, разность $C - c$ весьма ощутительна, но ковкость очень мала въ сравненіи съ тою, какою обладаютъ металлы, такъ-что пренебрегая соотвѣтствующимъ ей членомъ, получаютъ выраженіе весьма близкое къ слѣдующему:

$$l : l' = (a + t) (C - c) : (a + t') (C' - c');$$

откуда, если замѣнить l' t', $C' - c'$ величинами, соотвѣтствующими водѣ, то $l = (160 + t) (C - c)$.

Вещество, для котораго разность $C - c$ будетъ ощутительна и котораго коэффиціентъ упругости довольно большой, будетъ имѣть скрытую теплоту:

$$(\alpha) \ldots\ldots l = (160 + t) (C - c) + 0{,}01669\ K\left(1 + \frac{2}{\sqrt{d}}\right)$$

*) Annales de chimie et de physique, 3 serie, t. V.

Не извѣстно вещества, которое бы относилось къ этому случаю и для котораго бы величины l, C, c и K были измѣрены. Твердый бромъ, имѣющій большую плотность $d = 3,4$, по опредѣленію Пиерра (I. Pierre), могъ бы служить для повѣрки формулы (α), еслибъ только коэффиціентъ его упругости былъ извѣстенъ. Если для этого коэффиціента принять тотъ, который принадлежитъ хрусталю, $K = 4000$, и если, согласно съ опытами Реньо, положить $t = -7°,3$ и $C - c = 0,106 - 0,084$, то находятъ $l = 16,5$; непосредственные же опыты привели того же физика къ величинѣ $l = 16,2$ — согласіе замѣчательное, но по несчастію въ величинѣ K нельзя быть увѣреннымъ.

Для объясненія общаго отношенія (α), служащаго заключеніемъ превосходной его работы, Персонъ замѣчаетъ, что второй членъ этого отношенія представляетъ работу, необходимую для отдѣленія одной частицы отъ другой, первый членъ прилагается къ веществамъ, у которыхъ сцѣпленіе дѣйствуетъ слабо; эти вещества сохраняютъ капельное состояніе гораздо ниже точки замерзанія; даже предѣлы уже означенные нами (229) были значительно перейдены: такъ Шрётеръ (Schroetter) видѣлъ фосфоръ въ капельномъ состояніи при — 5°, т.-е. на 50° ниже точки плавленія, а Фаредэ получилъ жидкую сѣру при 10°, т.-е. на 100° ниже точки плавленія. Еслибъ тѣло оставалось въ капельномъ состояніи, то количество теплоты, которое оно заключало бы при температурѣ плавленія, было бы $(x + t)C$, гдѣ x означаетъ разстояніе отъ абсолютнаго нуля; въ твердомъ же состояніи при той же температурѣ количество теплоты было бы $(x + t)\,c$; скрытая теплота будетъ равна разности между этими двумя количествами, т.-е. $l = (x + t)(C - c)$, или принимая $x = 160$ получимъ $l = (160 + t)(C - c)$. Итакъ можно принять, что скрытая теплота плавленія состоитъ изъ двухъ частей; одна доставляетъ работу необходимую для отдѣленія частицъ и производитъ родъ капельнаго состоянія, какъ мы это видѣли въ металлахъ; величина ея чувствительно пропорціональна коэффиціенту упругости и въ металахъ только она одна и существуетъ. Другая же часть разсматриваемой теплоты употребляется для того, чтобы доставить частицамъ новый удѣльный теплородъ, соотвѣтствующій капельному состоянію; эта часть оказывается пропорціонально перемѣнѣ теплоемкости $C - c$ и зависитъ отъ температуры t, при которой происходитъ переходъ изъ одного состоянія въ другое, какъ это и показываетъ формула $l = (160 + t)(C - c)$.

248. Замѣчанія относительно сплавовъ. Идя далѣе въ своихъ изысканіяхъ, только-что нами представленныхъ, Персонъ замѣчаетъ

относительно сплавовъ, разныя замѣчательныя особенности. Во-первыхъ, онъ доказалъ, что *удѣльный теплородъ сплава въ капельномъ состояніи есть средняя величина между теплоемкостями составляющихъ его жидкихъ металловъ*, такъ-что здѣсь законъ тотъ же, что и для твердаго состоянія (209). Потомъ, измѣривъ между 0° и 50° удѣльные теплороды разныхъ твердыхъ сплавовъ, расплавляющихся близко 100°, онъ нашелъ, что они удовлетворяютъ этому закону, что не имѣетъ мѣста, какъ это мы видѣли, когда употребляютъ удѣльные теплороды при температурахъ близкихъ точкѣ плавленія (209). Эти удѣльные теплороды слишкомъ велики, вслѣдствіе разложенія, которое обнаруживается въ сплавѣ, когда онъ приближается къ точкѣ плавленія, и которое сопровождается выдѣленіемъ теплоты. Это странное явленіе особенно замѣтно въ сплавѣ Дарсета, охлажденіе котораго совершается равномѣрно до того момента, въ который онъ отвердѣваетъ. По выдѣленіи его скрытой теплоты, температура твердаго сплава правильно понижается до 57°, потомъ вдругъ термометръ поднимается на 1° или на 2°; здѣсь происходитъ расширеніе, которое продолжается по охлажденіи и которое разбиваетъ отливку, заключающую сплавъ, а выдѣленіе теплоты продолжается еще долгое время. Когда сплавъ быстро отвердѣваетъ въ водѣ, тогда его температура понижается за 57°, почти до 36°, и между-тѣмъ разложенія въ немъ не происходитъ; лишь-только охлажденіе оканчивается, начинается разложеніе и температура поднимается до 70°, такъ-что нельзя бываетъ прикоснуться къ сплаву безнаказанно. Уаррингтонъ (Warrington) замѣтилъ, что тогда изломъ сплава тусклый, вмѣсто-того чтобы по прежнему быть блестящимъ.

§ 2. — Переходъ изъ капельнаго состоянія въ газообразное и обратно.

242. Прекращеніе капельныхъ жидкостей въ пары. Когда возвышаютъ температуру жидкости, тогда липкость ее уменьшается, она становится такъ-сказать болѣе жидкою, и, достигнувъ нѣкоторой температуры, начинаетъ кипѣть, т.-е. переходитъ въ газообразное состояніе или въ пары, въ видѣ пузырьковъ, которые отдѣлившись отъ нагрѣтыхъ стеколъ сосуда, поднимаются сквозь массу жидкости и дойдя до поверхности, вырываются. Явленіе это проис-

ходитъ по слѣдующимъ законамъ: 1°) При томъ же давленіи и въ сосудѣ изъ того же вещества, температура кипѣнія жидкости всегда одна и та же; 2°) во все время кипѣнія температура жидкости остается постоянною; если сосуду доставляютъ бо́льшее количество теплоты, то этимъ только усиливаютъ испареніе, но нисколько не возвышаютъ температуры; 3°) объемъ пара гораздо болѣе объема той массы жидкости, которая доставила этотъ паръ; напримѣръ, вода, обращаясь въ паръ, занимаетъ объемъ въ 1700 разъ бо́льшій, чѣмъ тотъ, который она имѣла до испаренія.

Скрытый теплородъ упругости — Амонтонъ, Ринальдини и Гукъ (Hooke) почти въ одно и то же время замѣтили постоянство температуры во время кипѣнія воды; Блекъ объяснилъ это постоянство скрытою теплотою, которую капельная жидкость поглощаетъ, обращаясь въ упругую жидкость, и которая гораздо больше, чѣмъ скрытый теплородъ капельнаго состоянія; эта теплота оказывается явною, когда паръ обращается въ капельную жидкость, что́ достигается или сжатіемъ, или пониженіемъ температуры.

Температуры кипѣнія разныхъ веществъ весьма различны: такъ вода кипитъ при 100°, эѳиръ — при 37°, концентрированная сѣрная кислота — при 325°, ртуть при 360°, сѣра при 400° и проч. Огнеостоянныя твердыя тѣла могутъ также обращаться въ паръ при весьма высокихъ температурахъ: посредствомъ паяльной трубки съ водородомъ и кислородомъ, заставляютъ кипѣть серебро, золото, платину. Девиль (Deville) нашелъ на крышкѣ известковаго тигля (225), наполненнаго расплавленною платиною, пары этого металла, которые тамъ осаждались изъ сего газообразнаго состоянія.

Испареніе — Бо́льшая часть капельныхъ жидкостей могутъ также обращаться въ парообразное состояніе сами по себѣ, непосредственно, т.-е. безъ кипяченія, при весьма различныхъ температурахъ, низшихъ точки кипѣнія; но при этомъ образованіе пара происходитъ только на поверхности жидкости, и явленіе это называютъ *испареніемъ*. Испареніе тѣмъ быстрѣе, чѣмъ температура жидкости ближе къ точкѣ кипѣнія. Именно вслѣдствіе своего испаренія вода понемногу исчезаетъ изъ открытаго сосуда, смѣшиваясь съ воздухомъ и увеличивая его влажность. Такимъ же образомъ исчезаетъ жидкій слой, покрывающій тѣла, когда они высыхаютъ. Испареніе сопровождается пониженіемъ температуры; это пониженіе происходитъ отъ

поглощенія скрытой теплоты, которая, за неимѣніемъ въ этомъ случаѣ источника теплоты, никакою теплотою не замѣщается.

Ртуть испаряется при обыкновенной температурѣ, какъ это и доказалъ Фаредэ слѣдующимъ образомъ: наливъ въ стклянку нѣкоторое количество ртути, онъ подвѣсилъ къ ея пробкѣ горизонтальную пластинку изъ золота и помѣстилъ этотъ приборъ въ холодное темное мѣсто; черезъ шесть недѣль оказалось, что золотая пластинка побѣлѣла отъ ртути, которая очевидно не иначе могла на ней осадиться, какъ изъ своего газообразнаго состоянія. Отсюда должно заключить, что въ наиболѣе совершенной пустотѣ, какую только мы можемъ произвести, въ пустотѣ барометрической, существуютъ еще слѣды вѣсомой матеріи, потому-что въ ней находятся пары ртути.

Есть тѣла, которыя, повидимому, при обыкновенной температурѣ не испаряются, какъ напримѣръ концентрированная сѣрная кислота, дѣйствительно, если нѣкоторое количество этой кислоты въ сосудѣ помѣстить подъ колоколъ воздушнаго насоса, а тамъ же помѣстить растворъ барита и если при этомъ изъ-подъ колокола выкачивать воздухъ,—что́, какъ мы увидимъ, способствуетъ испаренію,—то замѣчаютъ, что вода раствора нисколько не оказывается мутною; извѣстно же, что достаточно малѣйшей частицы сѣрной кислоты, чтобы произвести весьма замѣтную мутность этой воды. Надобно замѣтить, что сѣрная кислота очень липкая жидкость; по этой причинѣ на положеніе равновѣсія ея частицъ форма сихъ послѣднихъ оказываетъ замѣтное вліяніе, такъ-что кислота эта не представляетъ собою совершенной жидкости. Постоянныя масла, которыя точно такъ же липки, доставляютъ однакожъ замѣтные пары, о чемъ свидѣтельствуетъ распространяемый ими запахъ.

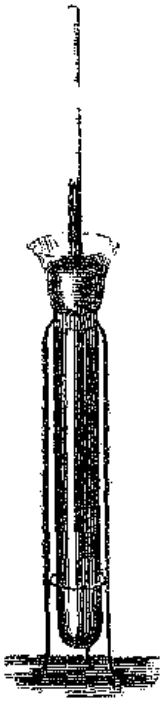
Возгонка.—Наконецъ есть тѣла, которыя сами возгоняются, т.-е. переходятъ въ газообразное состояніе, не бывши въ состояніи капельно-жидкомъ; напримѣръ, камфора, нашатырь, іодъ. Тѣла эти, при достаточномъ давленіи, могутъ быть обращены въ капельную жидкость. Снѣгъ также можетъ испаряться, не проходя чрезъ капельное свое состояніе, чѣмъ и объясняется исчезаніе его съ поверхности земли, во время сухихъ морозовъ, исчезаніе, несопровождаемое таяніемъ. Такъ напримѣръ Бойль нашелъ, что во время сильнаго мороза, изъ двухъ унцій льда, впродолженіи шести часовъ, потерялось десять грановъ.

Мы теперь изслѣдуемъ законы образованія паровъ, сперва въ пустотѣ, а потомъ въ воздухѣ.

I. Пары въ пустотѣ

248 Свободное образованіе паровъ въ пустотѣ. — Вообразимъ барометрическую трубку, погруженную въ очень глубокую чашечку и наполненную ртутью, сухою и освобожденною отъ воздуха, чашечка также должна быть наполнена этою жидкостію (фиг. 137); въ пустое пространство трубки впускаютъ нѣсколько капель какой-нибудь жидкости, напримѣръ спирту; для этого, вскипятивъ эту послѣднюю жидкость, наполняютъ ею маленькую стклянночку, которую и опрокидываютъ надъ ртутью, закрывъ пальцемъ ея отверзтіе и соблюдая при этомъ предосторожность не впустить воздуха; потомъ оборачиваютъ ее подъ барометрическою трубкою; можно также наполнивъ совершенно трубку ртутью, для чего достаточно ее только прилично наклонить, вынимаютъ ее и выливаютъ немного ртути и дополняютъ прокипяченною жидкостію, т.-е. въ нашемъ примѣрѣ, спиртомъ; потомъ закрывъ пальцемъ отверзтіе, ставятъ барометрическую трубку на мѣсто въ чашечку. Тогда впущенная жидкость поднимается сквозь ртуть, а при этомъ замѣчаютъ, что эта послѣдняя опускается и, почти тотчасъ остановившись, составляетъ только часть прежней своей высоты. Это явленіе произошло отъ того, что надъ ртутью образовались спиртные пары, и потому атмосферное давленіе должно уравновѣшиваться уже не оставшимся только столбомъ ртути, но и присоединеннымъ къ нему давленіемъ пара. Упругая сила этого пара очевидно равняется разности между высотою барометрической колонны и высотою ртути въ употребленной трубкѣ съ паромъ, такъ что она измѣряется количествомъ, на которое, отъ дѣйствія пара, ртутный столбъ понизился.

фиг 137



Если трубку съ паромъ приподнять и тѣмъ увеличить пространство находящееся надъ ртутью, то горизонтъ послѣдней останется въ томъ же разстояніи отъ горизонта въ чашечкѣ, если впрочемъ впущенная жидкость будетъ въ избыткѣ; слѣдовательно при этомъ поднятіи образуется новое количество паровъ, которое и занимаетъ приращеніе прежняго пространства, такъ - что упругость паровъ

остается тою же самою. Если же надъ ртутнымъ столбикомъ не въ избыткѣ находится впущенной жидкости, тогда, во время поднятія трубки, горизонтъ ртути также въ ней поднимается, что́ показываетъ уменьшеніе упругости пара, который распространяется при этомъ по всему расширяемому пространству, какъ бы оно велико ни было; слѣдовательно здѣсь пары обнаруживаютъ такія же свойства, какъ собственно такъ-называемые газы. Столбъ ртути сохраняетъ свою высоту также и въ томъ случаѣ, когда обратно трубку погружаютъ въ чашечку, т.-е. уменьшаютъ пространство занятое паромъ, и это потому, что паръ, находившійся въ отнятой части этого пространства, обращается въ капельное состояніе и, слѣдовательно, теряетъ всю свою упругую силу, такъ-что упругость оставшагося пара отъ уменьшенія пространства нисколько не измѣняется. Если на очень большое количество поднимаютъ или опускаютъ трубку, и если употребляемая жидкость весьма летуча, то можно замѣтить значительное измѣненіе въ толщинѣ слоя этой жидкости, плавающей на поверхности ртути. Изъ этихъ опытовъ Дальтонъ вывелъ слѣдующіе законы:

1°) *Капельная жидкость, помѣщенная въ пустое пространство, образуетъ изъ себя пары, которые мгновенно пріобрѣтаютъ наибольшую свою упругость.* Если увеличить пространство занятое этими парами, то немедленно образуется новое количество паровъ, которые и занимаютъ новое пространство, такъ что масса такого пара всегда пропорціональна занимаемому имъ объему

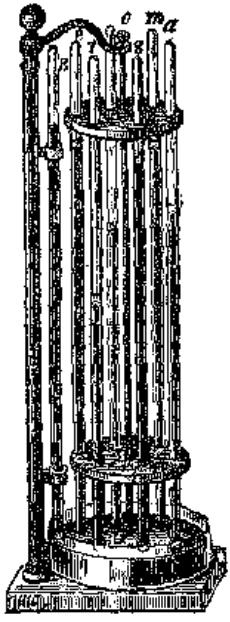
2°) *Наибольшая упругость пара не можетъ быть увеличена уменьшеніемъ объема или сжатіемъ*, отъ котораго происходитъ только то, что паръ, занимавшій отнятое пространство, уничтожается, переходя въ капельное состояніе.

Пространство, которое такимъ-образомъ заключаетъ паръ, имѣющій наибольшую упругость, называютъ пространствомъ *насыщеннымъ* паромъ; оно не было бы насыщено, еслибы количество жидкости было слишкомъ мало для того, чтобы доставить объемъ пара необходимый для состоянія насыщенія.

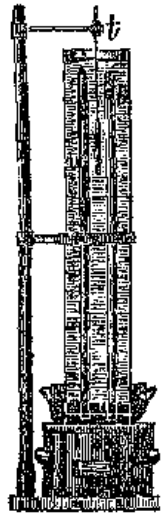
240. Обстоятельства, отъ которыхъ зависитъ наибольшая упругость пара.—Наибольшая упругость пара зависитъ отъ двухъ условій: 1°, отъ природы или вещества жидкости; чтобы это доказать, употребляютъ обыкновенно приборъ, представленный на (фиг. 138); онъ состоитъ изъ нѣсколькихъ барометрическихъ трубокъ, укрѣпленныхъ въ двухъ круглыхъ доскахъ, которыя

могутъ обращаться около вертикальной оси *oo*, проходящей черезъ ихъ центры. Въ эти трубки введены различныя жидкости, какъ напримѣръ, вода *e*, спиртъ *a*, сѣрный эѳиръ *s*, терпентинная эссенція *t*, мускусъ *m*, и проч.; всѣ эти трубки погружены въ одну общую чашечку и высоты ртутныхъ столбиковъ въ нихъ для разныхъ жидкостей различны; для сравненія этихъ высотъ, обращаютъ приборъ около оси *oo*, такъ-что эти трубки послѣдовательно становятся передъ сухимъ барометромъ *B*.

фиг. 138.

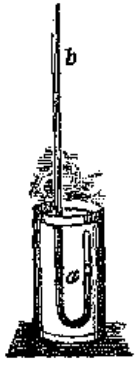


фиг. 139.



2°) Наибольшая упругость пара зависитъ отъ температуры и съ увеличеніемъ ея быстро увеличивается. Чтобъ это доказать, употребляютъ приборъ Дальтона (фиг. 139); этотъ приборъ состоитъ изъ двухъ барометровъ, одного сухаго *b*, и другаго *v*, содержащаго паръ; обѣ эти трубки погружаются въ маленькій котелокъ, наполненный ртутью; широкій цилиндръ которой ихъ обѣихъ обертываетъ, заключаетъ въ себѣ воду, которая, стоя надъ ртутью, понижаетъ находящуюся прямо подъ нею часть поверхности ртути на количество почти равное $^1/_{12}$ высоты воды. Нагрѣваютъ ртуть въ котелкѣ, откуда теплота передается водѣ заключенной въ цилиндрѣ и замѣчаютъ, что, по мѣрѣ возвышенія температуры, вертикальное разстояніе между горизонтами *b* и *v* увеличивается. Приборъ этотъ можетъ служить, пока упругая сила пара не превосходитъ атмосфернаго давленія. Но чтобы за этимъ предѣломъ продолжать опытъ, то употребляютъ согнутую трубку *ab* наполненную ртутью (фиг. 140); колѣно *a*, въ которое вводятъ не много испытуемой жидкости, погружаютъ въ ванну и постепенно нагрѣваютъ; тогда замѣчаютъ, что горизонтъ *b* постепенно возвышается; при этомъ упругость пара во всякій моментъ равна атмосфер-

фиг. 140.



ному давленію вмѣстѣ съ вѣсомъ вертикальнаго столба ртути $a\,b$

Измѣреніе наибольшей упругости.—Приборъ Дальтона представляетъ способъ, къ которому мы еще возвратимся, для измѣренія наибольшей упругости пара какой-нибудь жидкости при разныхъ температурахъ. Въ-самомъ-дѣлѣ, нужно только нагрѣвать воду въ цилиндрѣ до болѣе-и-болѣе возвышенныхъ температуръ и при каждомъ установившемся состояніи теплоты,—состояніи узнаваемомъ по температурѣ-измѣрять вертикальное разстояніе между горизонтами b и v Столбъ ртути, высота котораго равна этому разстоянію, будучи приведенъ къ 0°, и служитъ мѣрою искомой упругости.

250. Напряженіе капельныхъ жидкостей.—Предъидущіе законы, которыми мы обязаны Дальтону, показываютъ намъ, что капельная жидкость можетъ существовать тогда только, когда достаточное давленіе, производимое на ея поверхность, препятствуетъ ей испаряться. Съ возвышеніемъ температуры, это предѣльное давленіе быстро увеличивается: такъ, при 0°, наибольшая упругость водяныхъ паровъ равна высотѣ $4^{mm},6$ ртутнаго столба, при 50° она равна высотѣ 91^{mm} такого столба, при 100°—760^{mm} или одной атмосферѣ, при 150°=4,5 атмосферъ и при 200° упругость эта равна давленіе 15 атмосферъ, такъ-что температура только увеличивалась вдвое противъ 100°, а упругость увеличивалась въ 15 разъ. Наибольшая упругость паровъ при температурѣ, которою она сопровождается, указываетъ намъ на предѣлъ разстоянія между частицами пара, предѣлъ, перейдя который, вслѣдствіе частичнаго притяженія, паръ обратился бы въ капельное состояніе, напротивъ, еслибы надъ жидкостію не было достаточнаго давленія, то она продолжала бы улетучиваться. Стремленіе жидкости принять газообразное состояніе тѣмъ болѣе замѣтно, чѣмъ выше ея температура; это стремленіе называютъ *напряженіемъ* жидкости; оно показываетъ, что между ея частицами, для всѣхъ перемѣщеній, при которыхъ онѣ другъ отъ друга отдаляются, существуетъ какое-то особеннаго рода неустойчивое равновѣсіе.

Видимъ, что упругія жидкости представляютъ особенныя свойства, когда состояніе ихъ близко къ точкѣ перехода ихъ въ капельную жидкость и именно когда онѣ находятся въ соприкосновеніи съ избыткомъ этой послѣдней, если она таже самая, изъ которой образовались пары. Въ этомъ-то особенномъ состояніи пары дѣйствительно и отличаются отъ другихъ упругихъ жидкостей; свойства такихъ паровъ

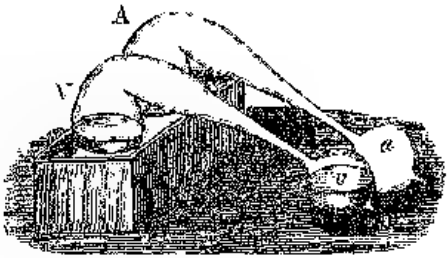
мы теперь и изучимъ. Если же, напротивъ, въ пространствѣ, занятомъ паромъ, не существуетъ избытка соотвѣтствующей капельной жидкости, и если доставляютъ пару возможность занять большее пространство, тогда плотность и упругая его сила уменьшаются точно такъ, какъ и у прочихъ газовъ; то же самое должно сказать и про увеличеніе этой силы отъ теплоты; слѣдовательно, при разсматриваемомъ условіи, нѣтъ нужды дѣлать различіе между парами и газами, тѣмъ болѣе, какъ это мы далѣе и увидимъ, большая часть веществъ представляющихся обыкновенно въ газообразномъ состояніи, могли быть обращены въ капельное.

II. Смѣсь паровъ съ газами.

251 Испареніе въ воздухѣ.—Образованіе пара, на поверхности какой-нибудь капельной жидкости, происходитъ также и въ томъ случаѣ, когда эта жидкость находится въ какомъ бы то ни было газѣ, напримѣръ въ воздухѣ; при этомъ, если пространство, занятое газомъ, ограниченное, то паръ достигаетъ въ немъ, какъ и въ пустотѣ, наибольшей упругости и тогда говорятъ, что этотъ газъ насыщенъ паромъ; здѣсь только состояніе насыщенія произойдетъ по прошествіи болѣе или менѣе долгаго времени, между-тѣмъ какъ въ пустотѣ оно обнаруживается мгновенно. Нѣкогда физики полагали, слѣдуя мнѣніямъ Гука, Галлея, Леруа, Монжа, и проч., что воздухъ необходимъ для испаренія, что онъ дѣйствуетъ какъ растворяющее вещество для жидкости и что, такъ какъ всякое вообще растворяющее вещество можетъ заключать въ себѣ только опредѣленное количество растворяемаго, то поэтому и воздухъ насыщается паромъ. Но опыты Дальтона показали, что паръ существуетъ самъ по себѣ, потому-что онъ образуется и въ пустотѣ; воздухъ же, далекій отъ того чтобъ быть, въ отношеніи къ пару, тѣмъ, чѣмъ его прежде считали, представляетъ ему, напротивъ, собою препятствіе, которое замедляетъ его образованіе и производитъ то, что состояніе его насыщенія достигается только по прошествіи довольно долгаго времени. Фонтана (Fontana, произвелъ слѣдующій опытъ, который это заключеніе дѣлаетъ очевиднымъ (фиг 141), въ двѣ реторты *V* и *A* онъ ввелъ одинаковое количество спирта; реторты эти оканчивались двумя равными шарами *v* и *a*: одну изъ нихъ *A* онъ наполнилъ воздухомъ, между-тѣмъ какъ изъ другой *V* онъ выгналъ этотъ газъ; для это-

го, во время кипѣнія въ ней спирта, онъ закрылъ ея оконечность *n*, запаявъ послѣднюю надъ лампой (фиг. 141). Обѣ реторты были погружены въ одну и ту же ванну теплой воды; паръ, въ большомъ количествѣ образовавшійся въ *V*, собирался въ шарикѣ *v* и тамъ осаждался, между-тѣмъ какъ въ шарикѣ *a*, заключавшемъ воздухъ, по прошествіи того же времени, скопилось изъ пара только весьма незначительное количество капельной жидкости.

фиг. 141.

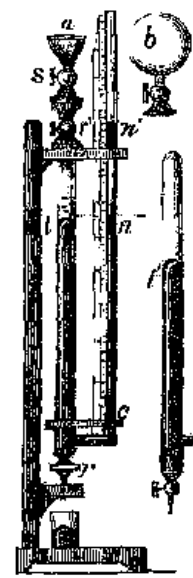


252. Объясненіе образованія пара въ газахъ. — Мы видѣли что капельная жидкость перестаетъ производить паръ, когда тотъ, который уже прежде надъ нею образовался, производитъ на ея поверхность достаточное давленіе Но давленіе воздуха значительно превосходитъ наибольшую упругость пара, соотвѣтствующую обыкновенной температурѣ поэтому спрашивается, какимъ-образомъ однакожь въ атмосферѣ можетъ происходить испареніе? Чтобы объяснить это явленіе, припомнимъ, что газы, вслѣдствіе своего расширенія, имѣютъ стремленіе смѣшиваться даже чрезъ отверстія непримѣтныя для нашихъ чувствъ Но такъ-какъ воздухъ, давящій на поверхность жидкости, есть газъ пористый, то испареніе и происходитъ въ тѣхъ точкахъ этой поверхности которыя соотвѣтствуютъ промежуткамъ между частицами этого газа; образовавшійся паръ смѣшивается понемногу съ воздухомъ, пока пространство не окажется насыщеннымъ такъ же какъ и въ пустотѣ. Если это пространство неограниченное и если воздухъ въ покоѣ, то, по мѣрѣ приближенія разныхъ слоевъ покоющихся надъ жидкостію, къ точкѣ ихъ насыщенія, испареніе дѣлается все болѣе-и-болѣе медленнымъ. Испареніе будетъ много быстрѣе, если, напротивъ, воздухъ возобновляется, потому-что тѣ его части, которыя смѣшаны съ паромъ, будутъ замѣняться другими, заключающими гораздо мѣньшее количество пара. Этимъ объясняется, почему вѣтеръ, въ-особенности когда онъ очень сухъ, имѣетъ свойство столь быстро осушать землю, смоченную дождемъ. Изъ тѣхъ же разсужденій слѣдуетъ, что въ ограниченномъ пространствѣ, наполненномъ газомъ, испареніе не прекратится до-тѣхъ-поръ, пока паръ не пріобрѣтетъ той же наибольшей

упругости, какъ и въ пустотѣ. Это дѣйствительно и доказано Дальтономъ

25. Законъ смѣшенія газовъ съ парами Когда паръ насыщаетъ пространство, наполненное газомъ, тогда его упругость таже какъ и въ пустотѣ.—Чтобъ доказать этотъ законъ, Гэ-Люссакъ придумалъ приборъ (фиг 142), который состоитъ изъ толстой трубки t, снабженной двумя желѣзными крапами r r' и сообщающеюся съ другою вертикальною трубкою $c\,n$. Когда трубка t будетъ наполнена совершенно сухою ртутью тогда снимаютъ часть $s\,a$ и привинчиваютъ въ r' шаръ b, наполненный испытуемымъ газомъ, потомъ отворяютъ краны r', r равно и тотъ который принадлежитъ шару Ртуть вытекаетъ чрезъ r' и газъ входитъ въ трубку t; затѣмъ закрываютъ краны и наблюдаютъ горизонтъ ртути въ t и въ n Разность этихъ горизонтовъ, увеличенная высотою барометра, представляетъ упругую силу этого газа. Потомъ шаръ b замѣняютъ приборомъ $s\,a$, который есть ни что иное, какъ кранъ съ чашечкою и въ воронку a наливаютъ капельной жидкости; послѣ этого вводятъ нѣсколько капель этой жидкости въ трубку t, гдѣ онѣ и производятъ пары; для введенія этихъ капель стоитъ только нѣсколько разъ повернуть кранъ s. По закону смѣшенія газовъ упругость образовавшагося пара присоединяется къ упругости газа и поэтому горизонтъ въ t опускается, между-тѣмъ какъ въ n поднимается. Ожидаютъ, когда газъ сдѣлается насыщеннымъ что произойдетъ когда высоты въ t и n перестанутъ перемѣнять свое положеніе и когда притомъ поверхность ртути въ t будетъ смоченная. Тогда наливаютъ ртути до n', такъ чтобы привести горизонтъ t къ его первому положенію, а газъ къ его начальному объему. Упругость h пара, насыщающаго газъ при температурѣ опыта, выразится избыткомъ настоящаго давленія предъ тѣмъ, которое существовало до введенія капельной жидкости. Вводя потомъ эту жидкость въ пустоту барометра, находятъ, что при той же температурѣ ртуть понижается на то же количество h. Можно и не приводить газъ къ его первоначальному объему, но тогда нужно измѣрять пространство, которое онъ занималъ

фиг. 142.



при началѣ и при концѣ опыта, чего достигаютъ чрезъ раздѣленіе трубки t на части равныхъ объемовъ. Если P есть давленіе сухаго газа при объемѣ v, P' — давленіе смѣси при объемѣ v', то давленіе только одного газа въ этой смѣси будетъ $P\frac{v}{v'}$, а упругая сила пара окажется $P'-P\frac{v}{v'}$. Въ томъ случаѣ, когда капельная жидкость, какъ напримѣръ эѳиръ, растворяетъ въ себѣ жирныя вещества, покрывающія кранъ r' (фиг. 142), тогда наружный воздухъ можетъ войти, или внутренній газъ выйти чрезъ зазоръ этого крана. Чтобъ устранить это неудобство, Гэ-Люссакъ измѣнилъ свой приборъ, какъ это видно въ t' (фиг. 142): верхній кранъ уничтоженъ и газъ вводится въ трубку t' снизу; трубка же эта располагается тогда надъ ртутною ванною. Въ этомъ случаѣ вводятъ эѳиръ въ боковую трубку, и выпускаютъ ртуть чрезъ нижній кранъ до-тѣхъ-поръ, пока нижняя часть эѳирной колонны, не достигнетъ соединенія двухъ трубокъ, такъ чтобъ часть этой жидкости могла проникнуть въ t'. Тогда наливаютъ ртуть въ боковую трубку и оканчиваютъ опытъ, какъ сказано выше.

254. Опыты при разныхъ температурахъ. — Приборъ Гэ-Люссака не можетъ доставить большой точности и сверхъ-того онъ не позволяетъ дѣйствовать при измѣняющихся температурахъ. Реньо, въ своихъ изслѣдованіяхъ въ гигрометріи, употреблялъ болѣе точный способъ, позволявшій ему дѣйствовать при температурахъ заключенныхъ между 0° и 38° (*). Приборъ его устроенъ какъ воздушный термометръ, подобный представленнымъ на фигурѣ 116 (192), но только при настоящихъ опытахъ вводятъ въ шаръ стеклянный пузырекъ, наполненный водою и закрытый надъ лампою. Этотъ шаръ, посредствомъ трубки p (фиг. 116), наполняютъ сухимъ воздухомъ и приводятъ ртуть къ замѣченной точкѣ α на трубкѣ $b\ n$ и потомъ, пока шаръ остается окруженнымъ льдомъ, и внутренность его подвержена атмосферному давленію, трубку p закрываютъ надъ лампою. Потомъ окружаютъ шаръ водою, которую послѣдовательно доводятъ до разныхъ температуръ, и, каждый разъ приводя горизонтъ ртути къ замѣченной точкѣ α, для того чтобы объемъ воздуха всегда оставался тотъ же, измѣряютъ давленіе этого газа. Затѣмъ ванну опоражниваютъ отъ воды и къ дну шара приближаютъ нѣсколько угля, тогда вода въ пузырькѣ расширяется и тѣмъ его разбиваетъ. Снова на-

* Annales de chimie et de physique, 3 série, t. IV.

чинаютъ рядъ наблюденій произведенныхъ надъ сухимъ воздухомъ, и при этомъ при каждой температурѣ ожидаютъ, пока давленіе окажется совершенно установившимся. Тогда избытокъ давленія предъ тѣмъ, которое, при той же температурѣ, получено въ первомъ рядѣ наблюденій, доставитъ упругость насыщеннаго пара. Для большей точности Реньо дѣйствовалъ такъ, что въ началѣ послѣдовательно возвышалъ температуру, а потомъ ее понижалъ, такъ-что часть пара сгущалась отъ одного наблюденія до другаго. Опыты, произведенные съ воздухомъ и азотомъ, постоянно доставляли для упругости водянаго пара въ этихъ газахъ величину мѣньшую, чѣмъ та, которую эта упругость имѣетъ въ пустотѣ. Разность эта не постоянна, составляетъ только нѣсколько десятыхъ частей миллиметра, не имѣетъ связи съ температурою и мѣняется въ воздухѣ и азотѣ различнымъ образомъ. Если она не есть слѣдствіе какой-нибудь постоянной ошибки, оставшейся незамѣченною, то можно было бы ее объяснить такъ, какъ объясняютъ уменьшеніе количества воздуха, вытягиваемаго изъ-подъ колокола воздушнаго насоса. Когда избытокъ напряженія капельной жидкости, предъ упругостію уже образовавшагося пара, сдѣлается чрезвычайно малымъ, тогда инерція частицъ газа и пара можетъ остановить испареніе, прежде чѣмъ степень насыщенія будетъ полною.

Во всякомъ случаѣ, такъ-какъ разность эта чрезвычайно мала, то можно принимать во всѣхъ приложеніяхъ и въ вычисленіяхъ, что упругая сила насыщеннаго пара, при той же температурѣ, въ пустотѣ и въ газѣ одинакова. Этотъ выводъ вѣренъ также въ случаѣ нѣсколькихъ смѣшенныхъ паровъ, происшедшихъ отъ различныхъ жидкостей и не производящихъ другъ на друга химическаго дѣйствія, тогда съ каждымъ изъ нихъ происходитъ то же, какъ еслибъ онъ былъ одинъ. Прибавимъ, что начальная упругая сила газа не имѣетъ никакого вліянія на эти результаты.

255. Осажденіе пара въ воздухѣ. Количество пара, необходимое для насыщенія пустаго или наполненнаго газомъ пространства, тѣмъ болѣе, чѣмъ выше температура. Отсюда слѣдуетъ, что когда насыщенное пространство будетъ охлаждено, тогда часть пара осадится въ капельное состояніе; даже нѣтъ необходимости, чтобы это пространство было заранѣе насыщено, потому-что его можно охладить до того, что оно такимъ сдѣлается съ тѣмъ количествомъ паровъ, которое заключаетъ. Именно такимъ-образомъ охлаждается влажный воздухъ въ прикосновеніи съ очень холодными тѣлами

и въ мелкихъ капляхъ осаждается на ихъ поверхности. Если охлажденіе происходитъ по всей массѣ газа, напримѣръ когда его очень быстро расширяютъ (221), тогда осажденіе пара происходитъ по всѣхъ точкахъ этой массы Чтобы показать это на опытѣ, достаточно быстро разрѣдить влажный воздухъ, заключенный подъ колоколомъ воздушнаго насоса и тогда замѣчаютъ что-то въ родѣ тумана, образовавшагося изъ весьма тонкихъ водяныхъ капель, которыя, вслѣдствіе малаго своего вѣса, не падаютъ, подобно тому, какъ это происходитъ съ весьма тонкою пылью. Этотъ туманъ чрезъ нѣсколько секундъ исчезаетъ, потому-что составляющія его капли испаряются въ газѣ, принявшемъ вскорѣ температуру окружающей среды. Точно также, если, чистый или смѣшанный съ воздухомъ паръ будетъ выпущенъ въ болѣе холодное пространство, то онъ тамъ образуетъ туманъ, потому-что его тамъ болѣе, чѣмъ необходимо для насыщенія этого болѣе холоднаго пространства.

Если это пространство безгранично и заранѣе не насыщено, то капли пара вскорѣ исчезаютъ, испаряясь въ болѣе отдаленныхъ частяхъ воздуха Этимъ объясняется, почему зимою или вообще при холодной и влажной погодѣ, замѣчаемъ собственное свое дыханіе. Легкія облака, испаряющіяся изъ кипящей или даже изъ теплой воды, происходятъ отъ той же самой причины; онѣ тотчасъ же разсѣваются, испаряясь въ болѣе возвышенныхъ слояхъ воздуха. Надобно замѣтить, что эти облака, обыкновенно называемыя паромъ, состоятъ изъ водяныхъ капель; паръ же, въ собственномъ смыслѣ, всегда прозраченъ и невидимъ подобно воздуху. Газъ или паръ, заключенный въ стеклянномъ сосудѣ, можно видѣть тогда только, когда онъ цвѣтной, какъ напримѣръ хлоръ, пары іода, пары азотистой кислоты.

256. Наибольшая упругость паровъ въ оградѣ имѣющей не вездѣ одинаковой температуры.—Вообразимъ пустую ограду какой-нибудь формы, заключающую въ себѣ капельную жидкость, которая не занимаетъ въ ней самаго холоднаго мѣста Жидкость эта доставитъ пары съ наибольшею упругостію, соотвѣтствующею ея температурѣ; эти пары распространятся по всему пространству и стремятся сдѣлать давленіе повсюду одинаковымъ. Но это давленіе слишкомъ велико для температуры самой холодной части средины; такъ-что здѣсь часть пара сгущается. Но тогда уменьшается упругость пара на всемъ пространствѣ и жидкость окажется окруженною ненасыщенными парами, потому образуются новые пары, про-

исходитъ новое ихъ сгущеніе въ холодномъ мѣстѣ и такъ далѣе, пока вся жидкость, чрезъ перегонку, не перенесется въ это мѣсто. Тогда давленіе въ срединѣ будетъ повсюду равно наибольшей упругости пара, соотвѣтствующей его температурѣ.

Если средина наполнена газомъ, то будетъ тотъ же результатъ, но только въ болѣе продолжительное время. Въ приборѣ Фонтана (фиг. 141) можно видѣть переходъ жидкости въ самое холодное мѣсто средины, какъ въ пустотѣ, такъ и въ воздухѣ.

255. Задачи относящіяся къ парамъ. Законъ смѣшенія газовъ съ парами позволяетъ рѣшать различные, очень часто встрѣчающіеся, вопросы:

1. Зная объемъ V сухаго газа, найти его объемъ V', когда онъ насыщенъ паромъ при той же температурѣ t, и подъ тѣмъ же давленіемъ P Если назвать черезъ F упругую силу насыщеннаго пара при температурѣ t, то давленіе одного газа въ смѣси, которой давленіе есть P, будетъ $P-F$, и тотда по закону Маріота получимъ, $V' : V = P : (P-F)$.

2. Если данъ объемъ V насыщеннаго газа при температурѣ t и при давленіи P, то требуется найти, какой объемъ V' онъ будетъ имѣть, когда онъ насыщенъ при температурѣ t' и при давленіи P'. Если F и F' суть упругости пара при температурахъ t и t', то давленія одного газа при этихъ температурахъ будутъ $P-F$ и $P'-F'$. Тогда по закону Маріота и по закону расширеній, получимъ:

$$(\alpha) \quad \frac{V'}{V} = \frac{P-F}{P'-F'} \frac{267+t'}{267+t}.$$

Если газъ не находится въ прикосновеніи съ избыткомъ жидкости и если мы имѣемъ $t' > t$, то можетъ случиться, что пространство не будетъ уже насыщено и тогда эта формула уже неприлагаема. Для того чтобы узнать, въ какомъ случаѣ это произойдетъ, положимъ, что D и D' суть плотности насыщеннаго пара при температурахъ T и T', т.-е, при давленіяхъ F и F'. Прилагая къ пару законъ Маріота и формулы разныхъ газовъ получимъ:

$$(\beta) \quad \frac{D'}{D} = \frac{F'}{F} \frac{267+t}{267+t'}.$$

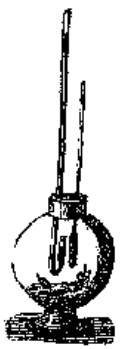
Умножая почленно это уравненіе на предъидущее (α), получимъ

$$(\gamma) \quad \frac{V'D'}{VD} = \frac{PF'-FF'}{P'F-FF'}.$$

это выраженіе показываетъ отношеніе между массами паровъ насыщающихъ объемы V и V' при температурахъ t и t'

Теперь легко узнать, будетъ ли масса пара VD довольно велика, чтобы насыщать объемъ V' при температурѣ t'. Для этого надобно, чтобы PF было менѣе $P'F$, потому-что тогда VD' будетъ меньше VD, и избытокъ пара сгустится, а предъидущая формула будетъ удобоприложима. То же будетъ и въ томъ случаѣ, когда $PF = P'F$; но тогда не произойдетъ сгущенія пара. Наконецъ если PF болѣе $P'F$, то получимъ $VD < V'D'$; итакъ какъ объемъ V' при температурѣ t' не насыщенъ парами, то разсматриваемая формула не можетъ быть болѣе прилагаема.

фиг. 143.



Манометръ Бертолѐ. — Для примѣра положимъ, что желаютъ знать, поглощается ли газъ или выдѣляется въ закрытомъ сосудѣ, наполненномъ водою и различными органическими веществами. Сосудъ долженъ быть снабженъ термометромъ и манометромъ и, слѣдовательно, представлять собою *манометръ Бертолѐ* (фиг. 143). Пусть будетъ при началѣ опыта давленіе и температура P и t, а при концѣ X и t, а F и F' упругости пара насыщеннаго при температурахъ t и t' Еслибъ не было ни выдѣленія, ни поглощенія газа, то послѣ опыта давленіе опредѣлилось бы по формулѣ (α), изъ которой выводимъ.

$$P' = P - F) \frac{267 + t'}{267 + t} + F',$$

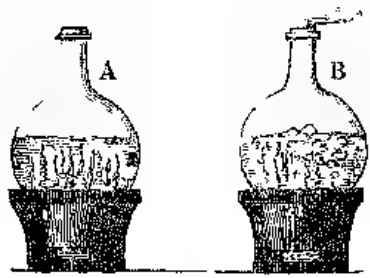
потому-что $V = V'$, если не принимать во вниманіе расширенія сосуда. Если X болѣе P', то значитъ происходило выдѣленіе газа, а если менѣе, то было поглощеніе его.

III. О кипѣніи.

256. Когда нагрѣваютъ жидкость въ открытомъ сосудѣ, то сначала на поверхности образуется паръ, давленіе котораго увеличивается съ возвышеніемъ температуры. Вскорѣ слои, находящіеся въ прикосновеніи съ горячими стѣнками, достаточно нагрѣваются для того, чтобы паръ, который они стремятся произвести, могъ преодолѣть вѣсъ воды и давленіе воздуха, находящихся надъ ними. Тогда замѣчаютъ, что со дна сосуда отдѣляются паровые пузырьки, которые поднимаются сквозь жидкость, причемъ объемъ ихъ уменьшается; потомъ

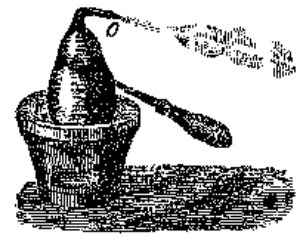
они сгущаются и исчезаютъ, дойдя до менѣе нагрѣтыхъ верхнихъ слоевъ. Движеніе этихъ пузырьковъ и ихъ быстрое слѣдованіе одныхъ за другими, образуютъ неправильные конусы, которые легко можно различить въ стеклянномъ сосудѣ А (фиг. 144). Жидкость, наполняя пространство остающееся послѣ каждаго исчезнувшаго пузырька, производитъ маленькій толчокъ, что и составляетъ причину особеннаго журчанія, которое предшествуетъ кипѣнію. Скрытая теплота, выдѣляемая сгустившимися пузырьками и возмущеніе производимое движеніемъ ихъ внутри жидкости, причиною тому, что вскорѣ температура въ высшихъ слояхъ жидкости повышается до той же высоты, какъ и въ низшихъ; тогда паровые пузырьки доходятъ до самой поверхности жидкости и увеличиваются при этомъ въ объемѣ, вслѣдствіе испаренія происходящаго по всей ихъ внутренней поверхности, а также вслѣдствіе того, что, по мѣрѣ ихъ возвышенія, давленіе жидкости на нихъ уменьшается. Въ это время они представляются въ видѣ отсѣченныхъ неправильныхъ конусовъ, меньшее основанія которыхъ находятся внизу (фиг. 144. В). Кипѣніе тогда полное.

фиг. 144.



Эолипиль. — Въ прежнія времена явленіе кипѣнія объяснялось совершенно ошибочно; подъ названіемъ воздуха тогда смѣшивали всѣ газы, и изъ этого ложнаго понятія заключали, что испареніе есть ни что иное, какъ превращеніе воды въ воздухъ. Это мнѣніе раздѣлялъ и Витрувій, и оно поддерживалось до XVII-го вѣка. Маленькій приборъ, называвшійся *эолипиль*, служилъ для показанія этого предполагаемаго превращенія. Приборъ этотъ состоялъ изъ металлическаго сосуда, который оканчивался очень узенькой трубкою (фиг. 145); наполняли его водою, выгоняя сперва часть воздуха посредствомъ нагрѣванія, а потомъ во время охлажденія погружая отверстіе *o* въ воду. Послѣ этого ставили сосудъ на огонь и паръ съ большею или меньшею силою выходилъ изъ *o*. Витрувій говоритъ, что этотъ опытъ служитъ объясненіемъ воздуха и вѣтровъ. Геронъ (Heron, изъ Александріи, не называя этотъ приборъ эолипилемъ, однако зналъ его, умѣлъ его наполнять и вообще онъ

фиг. 145.



*

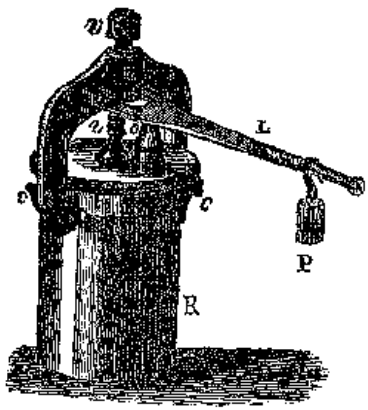
имѣлъ о парѣ выходящемъ изъ этого прибора болѣе точныя понятія.

Температура кипѣнія зависитъ: 1) отъ свойствъ жидкости, 2) отъ внѣшняго давленія, 3) отъ сосуда, въ которомъ жидкость кипитъ.

257. Дѣйствіе давленія. — Дальтонъ узналъ изъ опыта, что *упругая сила пара при кипѣніи равняется внѣшнему давленію.* Это легко понятно, потому-что паръ, чтобы существовать въ видѣ пузырьковъ въ жидкости, долженъ быть въ состояніи противодѣйствовать дѣйствующему на него давленію. Этотъ законъ, извѣстный подъ названіемъ «*законъ Дальтона*», найденъ былъ посредствомъ прибора фиг. 139-й; когда температура воды во внѣшнемъ цилиндрѣ равнялась той, при которой кипѣніе жидкости началось бы и въ открытомъ сосудѣ, то горизонтъ ртути въ этомъ цилиндрѣ понизился до горизонта ртути въ чашкѣ. Это равенство между упругостію пара и внѣшнимъ давленіемъ служитъ отличительнымъ признакомъ явленія кипѣнія; оно изъясняетъ, почему сифонъ и всасывающій насосъ не могутъ дѣйствовать, если вода находится въ кипѣніи, потому-что здѣсь пары замѣняютъ атмосферное давленіе,—ни даже при горячей водѣ, если давленіе поднятаго столба воды превышаетъ избытокъ атмосфернаго давленія надъ упругостію паровъ при этой температурѣ.

Далѣе изъ этого слѣдуетъ, что температура чистой воды, находящейся подъ давленіемъ 760^{mm} открытой атмосферы, не можетъ быть увеличена выше 100°, если ей сообщать болѣе теплоты, то образуется въ то же самое время больше паровъ, но температура не возвышается, по причинѣ исчезающей скрытой теплоты. Если хотятъ нагрѣть воду выше 100°, то необходимо произвести значительное давленіе надъ поверхностію воды, для чего можно пользоваться дѣйствіемъ самаго пара

фиг. 146.



Папиновъ котелъ. — Снарядъ этотъ состоитъ изъ сосуда *R* (фиг. 146) съ весьма плотными стѣнками и крышкою, которая сильно нажимается къ краямъ сосуда посредствомъ винта *vv*. Гайкою винту служитъ крѣпкая металлическая дуга, придѣланная къ сосуду чека-

ми *c*, *c*; между краями сосуда и крышкою кладутся кружки изъ смоченнаго картона. Рычагъ втораго рода *L*, снабженный гирею *P*, давитъ на картонный кружокъ, который наложенъ на наставную трубочку *o*, вдѣланную въ крышу. Въ сосудъ наливаютъ воды и ставятъ его на сильный огонь; пары, не находя себѣ истока, собираются надъ жидкостью и оказываютъ на нее усиленное давленіе, такъ-что кипѣніе останавливается, и температура всё болѣе-и-болѣе возвышается. Рычагъ *L*, закрывающій отверстіе *o*, служитъ для удержанія давленія паровъ въ извѣстныхъ предѣлахъ, иначе, отъ слишкомъ сильнаго давленія, могъ бы разорвать котелъ. Достигнувъ до извѣстной степени упругости, пары приподнимаютъ рычагъ и освобождаются черезъ отверстіе *o*. Это устройство составляетъ такъ-называемый *предохранительный клапанъ*, который имѣетъ столь обширное примѣненіе при паровикахъ, и составляетъ одно изъ полезнѣйшихъ открытій Папина.

Температура въ Папиновомъ котлѣ возвышается до того, что Муссенбрукъ плавилъ въ немъ олово и свинецъ. Растворяющая способность воды при этомъ значительно усиливается—кости въ ней размягчаются и студенистыя части ихъ растворяются; на этомъ основаніи употребляютъ Папиновъ котелъ для выварки студени изъ костей. Такимъ-образомъ извлекали студень даже изъ ископаемыхъ костей. Такъ, лѣтъ тридцать тому назадъ, за столомъ у префекта сѣвернаго департамента подали студень изъ костей мастодонта и другихъ допотопныхъ животныхъ

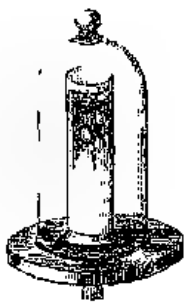
Дерево, вываренное въ Папиновомъ котлѣ, получаетъ видъ трухлаго дерева, долгое время подвергавшагося дѣйствію воздуха и дождя вода извлекаетъ изъ него смолистыя, маслянистыя и камедистыя вещества.

Описаніе Папинова котла было публиковано въ Англіи, въ 1681 году, подъ заглавіемъ: *новый снарядъ для выварки*; сочиненіе это переведено на французскій языкъ подъ заглавіемъ: *способъ размягченія костей и пр.* Папинъ назначалъ свой снарядъ исключительно для варенія въ весьма короткое время мяса и овощей. Со временемъ стали употреблять въ хозяйствѣ подобнаго рода снарядъ, *самозапирающійся котелъ* (marmite autoclave), получившій названіе отъ способа его запиранія. Отверстіе и крышка котла имѣютъ опальную форму; послѣдняя, нѣсколько бо́льшей величины, вводится въ отверстіе мѣньшимъ своимъ діаметромъ, потомъ, внутри сосуда, обращается и прикладывается внутри къ краямъ отверстія; давленіемъ пара она къ

пимъ прижимается съ тѣмъ большею силою, чѣмъ значительнѣе упругость пара. Снаряды эти, въ неопытныхъ рукахъ, причиняли нерѣдко несчастные случаи, и потому скоро вывелись изъ употребленія

Кипѣніе въ пустомъ пространствѣ. — Вмѣсто-того, чтобъ увеличивать давленіе на кипящую жидкость, можно, напротивъ, уменьшить его, тогда кипѣніе происходитъ ниже 100° Это доказывается на опытѣ. подъ колоколъ воздушнаго насоса ставятъ сосудъ съ водою при температурѣ t, ниже 100° (фиг. 147), и разряжаютъ воздухъ, какъ-скоро давленіе воздуха подъ колоколомъ будетъ равно упругости водяныхъ паровъ при t^0, вода въ сосудѣ начнетъ кипѣть. Чрезъ минуту кипѣніе прекращается вслѣдствіе поглощенія скрытаго теплорода образовавшимися парами, чтобы возобновить кипѣніе, стоитъ только нѣсколько болѣе разрѣдить воздухъ подъ колоколомъ. Пузырьки пара образуются въ верхней части сосуда, гдѣ дѣйствительно давленіе наименьшее.

фиг. 147.



Дѣлаютъ еще слѣдующій опытъ: въ колбѣ кипятятъ воду, пока пары вытѣснятъ весь воздухъ, тогда плотно закупориваютъ и опрокидываютъ колбу (фиг 148). Если черезъ нѣсколько времени облить ее холодною водою, то снова происходитъ сильное кипѣніе, потому-что пары осаждаются на охлажденныхъ стѣнкахъ, черезъ что давленіе уменьшается. Явленіе это можно повторять втеченіи двухъ часовъ. На высокой горѣ кипѣніе происходитъ при болѣе низкой температурѣ, нежели на низменныхъ мѣстахъ. Фактъ этотъ, впервые замѣченный Амонтономъ (Amontons), легко объясняется тѣмъ, что съ высотою уменьшается давленіе воздуха.

фиг. 148.

257. Барометрическій термометръ. Такъ-какъ упругость паровъ при кипѣніи равняется внѣшнему давленію воздуха, то, имѣя табличку упругости паровъ при различныхъ температурахъ, можно по температурѣ, при которой происходитъ кипѣніе, заключить о давленіи воздуха. Амонтонъ, открывшій постоянство точки кипѣнія, замѣтилъ также, что она зависитъ отъ внѣшняго давленія. Графтъ нашелъ, съ своей стороны, что температура точки кипѣнія понижается вмѣстѣ съ пониженіемъ ртути въ барометрѣ

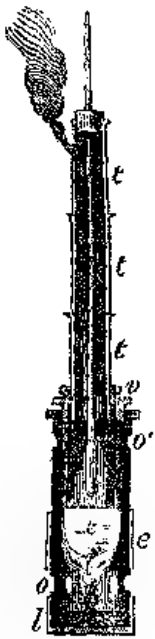
Кассини замѣтилъ, что на горѣ Канигу вода кипѣла при температурѣ ниже 100°; то же наблюденіе сдѣлалъ Монтескье на Пикъ-дю-Миди Наконецъ Маріотъ объявилъ, что горячая вода закипитъ на горѣ въ 6 верстъ высотою. Подобныя наблюденія навели на мысль примѣнить законъ Дальтона къ измѣренію давленія воздуха на высокихъ горахъ; зная силу давленія воздуха, не трудно вычислить высоту горы при помощи формулы Лапласа Фаренгейтъ и Кавалло первые указали на этотъ способъ, при которомъ необходимо соблюдать нѣкоторыя особыя правила предосторожности, чтобъ получить столь же точные результаты, какъ при барометрическомъ измѣреніи. Дѣйствительно, на поверхности моря барометръ понижается на 1^{mm} при поднятіи приблизительно на 10 метровъ тогда какъ точка кипѣнія, при тѣхъ же обстоятельствахъ, измѣняется только на $\frac{1}{27}$ градуса; чтобъ измѣреніе въ обоихъ снарядахъ было равно замѣтно, каждый градусъ термометра долженъ бы имѣть 27^{mm}. Джонъ Вульстонъ (Wollaston), для этой цѣли, устроилъ термометръ съ градусами въ 3^{cm} длиною. Подобный снарядъ имѣлъ бы весьма неудобную длину, еслибъ не довольствовались только шкалою градусовъ близкихъ къ 100°. Вульстонъ довольствуется 3-мя градусами такъ-какъ собственно требуется получить только разность между двумя ближайшими станціями; при измѣреніи значительныхъ разностей въ давленіи, онъ примѣняетъ къ своему термометру основанія метастатическаго (25), прибавляя ртути изъ запаснаго шарика, на верхнемъ концѣ трубки, въ тѣмъ бо́льшемъ количествѣ, чѣмъ ниже опредѣляемая точка кипѣнія. Снарядъ повѣряется въ кипящей водѣ, на низшей станціи. Нерѣдко предпочитаютъ термометры съ срединнымъ пріемникомъ (21), на которомъ опредѣляются обѣ постоянныя точки, и несмотря на то величина ихъ незначительна.

Усовершенствованный такимъ-образомъ термо-барометрическій способъ измѣренія высотъ гораздо удобнѣе для наблюденій во время путешествія, нежели непосредственный барометрическій способъ, потому-что при описанномъ способѣ употребляются менѣе объемистые, тяжелые и ломкіе приборы

Гипсометрическій термометръ.— Реньо изобрѣлъ маленькій переносный приборъ для такого рода опытовъ. мѣдный котелокъ *c* (фиг. 149) окруженъ латуннымъ цилиндромъ *oo'*, въ который вставляется спиртовая лампочка *l*, для приведенія воды въ котелкѣ до кипѣнія· трубки *l*, *t*, *t*, ввинченныя въ *r*, могутъ входить одна въ другую, какъ въ зрительной трубѣ, и служатъ для поддержки термо-

метра. Пары выходятъ черезъ боковое отверстіе въ верхней трубочкѣ, а воздухъ, потребный для горѣнія лампы, притекаетъ черезъ отверстія *o* и выходитъ черезъ *o'*. Цилиндрическій щитокъ *e*, съ различными выемками на краяхъ, служитъ для закрытія этихъ отверстій съ подвѣтренной стороны. Приборъ съ задвинутыми трубками имѣетъ всего 15см вышины. Для измѣреній помощью этого прибора, Реньо составилъ особыя таблицы, показывающія давленіе водяныхъ паровъ для каждой десятой доли градуса, между 85° и 101°.

Фиг. 149.



Поправка точки 100° термометра. — Таблица эта можетъ служить и для поправки точки кипѣнія при дѣленіи на градусы шкалы термометра, при найденной точкѣ кипѣнія ставятъ число градусовъ, соотвѣтствующее въ таблицѣ давленію воздуха, который показываетъ барометръ во время производства опыта.

258 Вліяніе свойства сосуда.—Аппаръ (Achard) утверждалъ, что температура кипѣнія воды не зависитъ отъ свойства сосуда, ее содержащаго, но Гэ-Люссакъ доказалъ, что вода кипитъ при высшей температурѣ въ стеклянномъ сосудѣ, нежели въ металлическомъ. Разность температуръ можетъ дойти до 1°; она зависитъ отъ свойства стекла и даже отъ вида его поверхности. Гэ-Люссакъ объясняетъ это прилипаніемъ водяныхъ паровъ къ стеклу, что препятствуетъ отдѣленію ихъ отъ стѣнокъ сосуда; дѣйствительно, кипѣніе въ стеклянномъ сосудѣ происходитъ съ трудомъ, о чемъ можно заключить по значительному шуму, который слышится при этомъ. Пузырьки паракрупны, немногочисленны и подымаются только изъ немногихъ точекъ нагрѣтой поверхности, при этомъ температура подвергается значительнымъ колебаніямъ, вслѣдствіе поглощенія крупными пузырьками скрытаго теплорода. Въ металлическомъ сосудѣ пузырьки мельче и многочисленнѣе, они выдѣляются изъ большаго числа точекъ и термометръ не претерпѣваетъ замѣтныхъ колебаній. Притомъ, температура кипѣнія ниже, чѣмъ въ стеклянномъ сосудѣ. Чтобъ убѣдиться въ этомъ, стоитъ насыпать желѣзныхъ опилокъ въ стеклянный сосудъ, въ которомъ только-что прекратилось кипѣніе—оно тотчасъ же возобновляется, но и прекращается немедленно, вслѣдствіе поглощенія скрытаго теплорода образовавшихся паровъ. Стекло толче-

ное дѣйствуетъ такъ же, но слабѣе, что ясно указываетъ на значеніе прилипанія воды къ стеклу.

Подобное свойство прилипанія еще значительнѣе въ сѣрной кислотѣ. Поэтому она можетъ нагрѣться значительно выше точки кипѣнія, если тогда пузырекъ пара отдѣлится со дна или стѣнокъ, то отъ избытка теплоты объемъ его непомѣрно увеличится, пока онъ наконецъ лопнетъ, достигнувъ поверхности; при этомъ имъ увлекается значительная часть жидкости, которая, падая назадъ, можетъ разбить сосудъ Подобные толчки особенно опасны на заводахъ сѣрной кислоты, гдѣ она сгущается въ большихъ стеклянныхъ ретортахъ. Отъ этихъ толчковъ можно избавиться, положивъ, по Гэ-Люссаку, на дно реторты обрѣзки платиновой проволоки, на которой пузырьки пара образуются совершенно правильно. Толчковъ избѣгаютъ также нагрѣвая реторты съ боковъ, а не снизу.

Опытъ Марсе.—На основаніи объясненія Гэ-Люссака, Марсе изъ Женевы заключилъ, что небольшое количество опилокъ не въ состояніи понизить до 100° точки кипѣнія воды въ стеклянномъ сосудѣ, по причинѣ прилипанія ея къ частямъ сосуда, непокрытымъ опилками; и дѣйствительно, на опытѣ ему не удалось понизить температуру кипѣнія воды въ стеклянномъ сосудѣ ниже 100,2°. Съ очень мелкими опилками не можно довести до 100° и нѣсколькихъ сотыхъ. Марсе допускаетъ, что при этомъ оконечности металлическихъ частицъ имѣютъ особое значеніе, образуя средоточія, изъ которыхъ выдѣляются безчисленные пузырьки.

Вліяніе вида поверхности.—Если внутренность сосуда покрыта составомъ, къ которому вода прилипаетъ съ мѣньшею силою, чѣмъ къ металлу, то точка кипѣнія опустится ниже 100°; такъ въ стеклянной колбѣ, въ которой вода кипитъ обыкновенно при 101°,2, кипѣніе произойдетъ при 99°,7, если стекло покрыть изнутри тонкимъ слоемъ сѣры. Если внутренность металлическаго сосуда покрыть слоемъ гуммилака, то вода будетъ кипѣть въ немъ при 99°,8. Въ стеклянныхъ сосудахъ, повидимому одинакихъ, разность точекъ кипѣнія можетъ доходить до 0°,85. При 100,4°, кипѣніе происходитъ безъ толчковъ, но при 100°,23 они появляются и температура колеблется на 0°,1 до 0°,25, смотря по силѣ толчковъ.

Если въ новую стеклянную колбу, въ которой вода кипитъ при 101°, налить сѣрной кислоты и дать ей постоять нѣсколько времени, то, даже послѣ самой тщательной обмывки, температура кипѣнія воды возвысится въ ней до 105° и даже 106°. Пузырьки поднимаются толь-

ко изъ немногихъ точекъ, и при каждомъ вспѣненіи термометръ понижается на нѣсколько десятыхъ градуса, чтобы тотчасъ снова подняться. Марсе производилъ нагрѣваніе въ масляной банѣ; частичка желѣзныхъ опилокъ уравниваетъ кипѣніе и температура понижается до 100°. Съ алькоолемъ получается подобный же результатъ; ѣдкій поташъ производитъ то же дѣйствіе, какъ и сѣрная кислота, но въ слабѣйшей степени.

Марсе объясняетъ это явленіе тѣмъ, что въ новыхъ колбахъ находится родъ пыли, приставшей къ стѣнкамъ, сѣрная кислота и ѣдкій поташъ уничтожаютъ эту пыль. Колбы изъ зеленаго стекла до того покрыты ею, что кипѣніе происходитъ въ нихъ почти такъ же легко, какъ въ металлическихъ сосудахъ; но если уничтожить эту пыль, обтирая внутренность колбы мокрою бумажкою, или нагрѣвая ее до краснаго каленія, то кипѣніе происходитъ уже только при 103° до 105°.

259 Явленія въ сильно нагрѣтыхъ сосудахъ —Если накапать немного воды въ накаленный тигель, то можно замѣтить, что жидкость принимаетъ шарообразную форму, какъ ртуть на стеклѣ, и остается прозрачною безъ всякаго признака кипѣнія; жидкость очень медленно испаряется и только въ продолжительномъ времени исчезаетъ. Опытъ производится въ чашечкѣ платиновой, серебряной, желѣзной, стеклянной; жидкій шаринъ иногда неподвиженъ, иногда быстро вращается. На расплавленной мѣди или чугунѣ вода также не кипитъ, а принимаетъ шарообразное состояніе; очевидно, нѣтъ соприкосновенія между жидкостью и раскаленнымъ металломъ. Если же раскаленный металлъ начнетъ остывать, то приходитъ моментъ, когда соприкосновеніе возстановляется и происходитъ сильнѣйшее кипѣніе.

Эллеръ, какъ кажется, первый замѣтилъ это явленіе въ 1746 г. Десять лѣтъ спустя, Лейденфроотъ тщательно изучилъ его. Деландъ, директоръ сенъ-гобенскаго стекляннаго завода, видѣлъ, какъ цѣлое ведро воды оставалось въ шарообразномъ состояніи надъ расплавленнымъ стекломъ и вода только весьма медленно испарялась; откуда онъ заключилъ, что воздухъ необходимъ для испаренія, и что онъ какъ-бы даетъ крылья парамъ. Стекольщики пользуются этимъ обстоятельствомъ при обдѣлкѣ стекла; полурасплавленную, раскаленную массу на концѣ желѣзной трубки они погружаютъ въ корыто съ водою и, катаніемъ по дну, сообщаютъ ей круглую форму. Вода не смачиваетъ стекла, и нѣтъ выдѣленія паровъ, котораго должно бы ожидать. Выдувши въ стеклянной массѣ небольшую пустоту, рабочій впускаетъ въ нее не-

много воды и затыкаетъ перстомъ отверзтіе трубки; вода, медленно испаряясь, увеличиваетъ пустоту на сколько потребно.

Клапротъ, потомъ Румфортъ также изучали это явленіе. Послѣдній нашелъ, что оно имѣетъ мѣсто и при температурѣ гораздо низшей, чѣмъ прежде полагали; онъ налилъ каплю воды на ложку, покрытую сажею; она приняла шарообразное состояніе при обыкновенной температурѣ. Нагрѣвъ ложку до того, что ручка ея жгла руку, онъ замѣтилъ, что температура воды едва повысилась.

Бодримонъ (Baudrimont *, опредѣлилъ температуру воды въ платиновомъ тиглѣ при различныхъ степеняхъ каленія. Онъ употреблялъ способъ смѣшиванія, выливая каплю въ опредѣленное количество воды, и нашелъ, что температура воды возвышается вмѣстѣ съ температурою тигля; такъ при темно-красномъ каленіи вода имѣла 36°, при красномъ каленіи 49°, при бѣломъ каленіи 50° **). Если вмѣсто холодной воды накапать въ тигель горячей, то она приводится къ той же температурѣ, какъ и холодная. Впрочемъ испареніе, противно мнѣнію Клапрота, происходитъ тѣмъ быстрѣе, чѣмъ выше температура сосуда, а слѣдовательно и жидкости.

Бодримонъ производилъ тѣ же опыты съ сѣрною кислотою, алькоголемъ, древеснымъ спиртомъ, эѳиромъ, терпентиннымъ масломъ, сѣрнистымъ углеродомъ, и убѣдился, что предѣлъ, при которомъ начинается шарообразное состояніе, зависитъ отъ рода жидкости, и что онъ тѣмъ ниже, чѣмъ ниже точка кипѣнія самой жидкости. Предѣлъ этотъ ниже краснаго каленія для воды и жидкостей болѣе летучихъ. Горячія жидкости нерѣдко воспламеняются у отверзтія тигля, не теряя притомъ шарообразнаго состоянія: только испареніе происходитъ нѣсколько быстрѣе вслѣдствіе нагрѣванія отъ пламени. Наконецъ, Бодримонъ пробовалъ употреблять и различнаго рода сосуды: платиновые, стеклянные, фарфоровые.

Въ подобныхъ опытахъ сосудъ можно замѣнить очень горячею жидкостью, въ чемъ Беллани убѣдился на опытѣ уже въ 1805 году. Пелузъ видѣлъ, какъ капля воды держалась надъ сильно нагрѣтымъ скипидаромъ, хотя плотность ея болѣе. Съ нѣкоторыми предосторожностями ему удалось расположить такимъ-образомъ нѣсколько жид-

---

*) Annales de chimie et de physique. 2-e serie, t. LXI.

**) Числа, найденныя Бодримономъ, кажется слишкомъ малы. Лоранъ пишетъ 99°, а Бутиньи 66. Послѣдній утверждаетъ, что число это не измѣняется, какова бы ни была температура тигля.

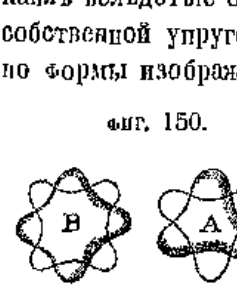
костей, одну надъ другою По Шарпу, эфиръ принимаетъ шарообразное состояніе надъ водою, ртутью, масломъ, дымящеюся азотною кислотою, нагрѣтыми не ниже 54°.

Опыты надъ значительными жидкими массами. — Описанныя явленія имѣютъ мѣсто и при значительной массѣ жидкости.

Пулье удалось наполнить водою цѣлый платиновый тигель, накаленный до-бѣла, и вѣсъ воды втеченіи нѣсколькихъ часовъ не измѣнился замѣтнымъ образомъ. Въ 1827 году Перкинсъ замѣтилъ, что вода не вытекала изъ трещины въ нижней части бронзоваго цилиндра наполненнаго водою и нагрѣтаго до-красна; вода находилась подъ давленіемъ своего вѣса, довольно значительнымъ, потому-что цилиндръ имѣлъ 8 дюймовъ въ діаметрѣ. Кромѣ-того, было давленіе 20-ти атмосферъ; но его считать нечего, такъ-какъ оно распространялось одинаково со всѣхъ сторонъ вдоль стѣнокъ цилиндра, несмоченныхъ жидкостью. Это замѣчаніе показываетъ, что описанное явленіе не такъ непонятно, какъ прежде полагали. Перкинсъ сдѣлалъ еще другой опытъ: къ нижней части небольшаго парогника онъ придѣлалъ желѣзную трубочку съ краномъ, раскалилъ парогникъ и потомъ ввелъ въ него воду, изъ открытой трубочки не показалось ни одной капли воды, тогда какъ паръ съ силою освобождался изъ предохранительнаго клапана, который уравновѣшивалъ 50 атмосферъ. Когда дали нѣсколько остыть снаряду, пары начали вдругъ выдѣляться съ страшнымъ шумомъ.

Движеніе шариковъ. — Лоранъ спеціально изучилъ движеніе водяныхъ шариковъ на сильно нагрѣтой поверхности *). Шарики эти принимаютъ видъ звѣздочекъ съ четнымъ числомъ зубцовъ, и получаютъ быстрое вращательное движеніе. Видъ этотъ сообщается каплѣ вслѣдствіе отдѣленія паровъ изъ-подъ нея и дрожанія ея отъ собственной упругости, причемъ капля принимаетъ послѣдовательно формы изображенныя на фигурахъ *A* и *B* (фиг. 150). Число зубцовъ зависитъ отъ числа мѣстъ, сдавленныхъ парами; правильная форма шариковъ обусловливаетъ симметричность частей фигуры. Такъ-какъ движеніе происходитъ въ двѣ противоположныя стороны въ каждой точкѣ шарика, то необходимо образуется парное число зубцовъ.

фиг. 150.

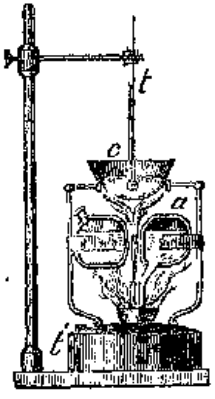


260. Бутиньи напечаталъ въ 1842-мъ году, длинный рядъ иску-

*) Annales de chimie et de physique. 2-me série, t. LXII.

сныхъ опытовъ, въ которыхъ онъ старался по возможности разнообразить обстоятельства сего явленія *). Онъ нашелъ низшій предѣлъ, при которомъ происходитъ шарообразное состояніе жидкостей: 142°, 134°, 69°, для воды, алькоголя и эѳира. Слѣдовательно, предѣлъ этотъ тѣмъ ниже, чѣмъ жидкость менѣе летуча, фактъ, уже доказанный Бодримономъ. Бутиньи налилъ сѣрной кислоты, разведенной водою, въ платиновую чашечку, нагрѣтую немного выше температуры кипѣнія этой жидкости, по мѣрѣ испаренія воды температура точки кипѣнія постоянно возвышалась, такъ что, наконецъ, прилипаніе возстановилось и произошло кипѣніе. Бутиньи находитъ, что температура жидкости не зависитъ отъ температуры сосуда,—что противорѣчитъ прежнимъ опытамъ,—и утверждаетъ, что испареніе увеличивается съ повышеніемъ температуры сосуда.

Фиг. 151.



Однимъ изъ удобнѣйшихъ снарядовъ для производства этихъ опытовъ, служитъ эолипиль съ вертикальною струею (фиг. 151): спиртовая лампа l приводитъ въ кипѣніе спиртъ, содержащійся въ кольцеобразномъ сосудѣ a. Струя горящей жидкости, вытѣсненной давленіемъ паровъ, устремляется въ вертикальномъ направленіи, черезъ изогнутую трубочку, прямо на дно чашечки c которая въ непродолжительномъ времени накаляется.

Одинъ изъ поразительнѣйшихъ опытовъ Бутиньи былъ произведенъ имъ надъ безводною сѣрнистою кислотою, кипящею при — 10°. Въ раскаленномъ тиглѣ жидкость эта принимаетъ шарообразное состояніе, и температура ея остается ниже точки кипѣнія, т.-е. ниже — 10°. Если въ нее погрузить колбочку съ водою, то вода замерзаетъ. Если накапать воды на сѣрнистую кислоту, то она также замерзаетъ. Такимъ-образомъ образуется ледъ на днѣ раскаленнаго тигля.

Фаредэ заморозилъ ртуть въ смѣси эѳира и твердой угольной кислоты на днѣ раскаленнаго тигля. Онъ налилъ въ тигель сперва эѳира, потомъ угольной кислоты, и погрузилъ въ смѣсь маленькую металлическую чашечку съ 31-мъ граммомъ ртути, которая замерзла въ 2 или 3 секунды. Температура подобнаго жидкаго шарика вѣроятно ниже—100°.

---

*) Nouvelle branche de physique ou étude sur les corps à l'état sphéroïdal, etc.

261. Теоретическое объясненіе этихъ явленій. —При этихъ явленіяхъ должно обратить вниманіе на два обстоятельства: 1° Нѣтъ прикосновенія между нагрѣтою поверхностью и жидкостью, потому-что если каплю воды сдѣлать непрозрачною посредствомъ сажи, то, по Бутиный, черезъ промежутокъ между нею и накаленною до-красна горизонтальною серебряною пластинкою видно пламя свѣчи. Варкманъ, Поггендорфъ... нашли также, что электрическій токъ не проходитъ между каплею и металлическимъ сосудомъ, что достаточно доказываетъ, что есть промежутокъ между ними, какъ мы увидимъ далѣе. 2° Теплота только медленно переходитъ въ жидкость, такъ что не обнаруживается кипѣнія Требуется объяснить эти два обстоятельства.

Отталкиваніе, производимое горячею поверхностію. — Муссенбрукъ объяснялъ прекращеніе связи между жидкостью и поверхностью сосуда «отталкиваніемъ огненной матеріи, выдѣляющейся отъ стѣнокъ сосуда». Извѣстно, что жидкость перестаетъ смачивать какую-либо поверхность, когда сцѣпленіе между ея частицами болѣе чѣмъ вдвое превышаетъ силу прилипанія жидкости къ твердому тѣлу. Но прилипаніе это уменьшается при нагрѣваніи; тогда уже нѣтъ соприкосновенія, а происходитъ даже родъ отталкиванія, что очевидно доказывается опытомъ Перкинса. Бутиный доказываетъ это отталкиваніе любопытнымъ опытомъ: онъ наливаетъ воды въ раскаленную корзиночку, сплетенную изъ платиновой проволоки, и вода не проходитъ черезъ петли. Сообщивъ быстрое вращательное движеніе, наподобіе пращи, раскаленной платиновой чашечкѣ съ жидкостью въ шарообразномъ состояніи, онъ удостовѣрился, что и центробѣжная сила не въ состояніи возстановить соприкосновеніе; только при охлажденіи чашечки обнаруживается испареніе и обозначается кольцомъ пара. Когда прекратилось соприкосновеніе между сосудомъ и шарикомъ, то пары образующіеся на нижней поверхности шарика, еще болѣе отдаляютъ его отъ дна сосуда: освобождаясь неправильно, по сторонамъ шарика, они сообщаютъ ему то странное движеніе, о которомъ мы упоминали выше. Персонъ нашелъ, что давленіе паровъ, въ промежуткѣ между жидкостью и нагрѣтою поверхностью, постоянно равняется давленію столба той же жидкости, равнаго высотою поперечнику шарика. Для сего онъ проводилъ черезъ шарикъ до самаго дна сосуда тонкій конецъ трубочки, изогнутой наподобіе *S*, верхнее колѣно которой содержало жидкость;

пары, входя черезъ тонкій конецъ, измѣняютъ ея уровень, откуда можно заключить о силѣ давленія.

Мы прибавимъ, что этотъ промежуточный паръ, кажется, самъ претерпѣваетъ отталкиваніе отъ раскаленной поверхности: дѣйствительно, Бутиный замѣтилъ, что на раскаленную серебряную чашечку не дѣйствуетъ азотная кислота; на мѣдную—ни эта кислота, ни амміакъ; на желѣзную и цинковую—сѣрная кислота. Легко понять, что жидкость, которая не прикасается до извѣстной поверхности, не можетъ на нее дѣйствовать; но пары, въ промежуткѣ между ними, производили бы свое химическое дѣйствіе, еслибы и они не отталкивались раскаленною поверхностью

Доказавъ отсутствіе соприкосновенія, остается объяснить, отчего жидкость получаетъ такъ мало теплорода, что весь онъ въ скрытомъ видѣ поглощается образующимися парами, и жидкость не доходитъ до кипѣнія. Только лучистая теплота можетъ сообщаться жидкости отъ различныхъ точекъ нагрѣтой поверхности. Значительная часть этой теплоты отражается блестящею поверхностью жидкости; другая часть проникаетъ въ нее; но такъ-какъ жидкость теплопрозрачна, то лучи проходятъ чрезъ нее, почти не поглощаясь; количество такихъ лучей тѣмъ болѣе, чѣмъ выше ихъ температура (100). Поэтому частицы жидкости удерживаютъ мало теплоты и такъ-какъ ея поглощается при испареніи тѣмъ болѣе, чѣмъ жидкость летучѣе, то температура будетъ очевидно тѣмъ ниже, чѣмъ ниже точка кипѣнія жидкости. Пуле примѣшивалъ къ водѣ чернила или угольнаго порошку, тогда проникающіе въ нее тепловые лучи задерживались въ большемъ количествѣ и испареніе происходило быстрѣе. Лоранъ достигъ того же результата, употребляя тушь Ртуть не смачиваетъ стекла, однако она кипитъ въ стеклянномъ сосудѣ, потому-что, по нетеплопрозрачности своей, она поглощаетъ весь теплородъ, непостраженный ея поверхностью.

Армстронгъ указываетъ еще на одну важную причину, препятствующую кипѣнію жидкости въ шарообразномъ состояніи, именно, что почти вся лучистая теплота, передаваемая сосудомъ нижней поверхности шарика, поглощается на ней обильнымъ испареніемъ. Пары выдѣляются обыкновенно со всѣхъ сторонъ, но если дно сосуда выпукло, то пары, образующіеся на выпуклости, проходятъ черезъ жидкость въ видѣ пузырьковъ. При погруженіи раскаленнаго куска платины въ холодную воду, не замѣчается отдѣленія паровъ, потому-что по мѣрѣ своего образованія они поглощаются отъ прикосновенія къ холод-

ной жидкости. Если же температура воды 100°, то она продолжаетъ кипѣть.

Опыты эти объясняютъ, почему соляные растворы дѣйствительнѣе чистой воды при закаливаніи стали. Въ первую минуту нѣтъ соприкосновенія, ибо металлъ отдѣленъ отъ жидкости оболочкою пара; соприкосновеніе возстановляется только послѣ нѣкотораго пониженія температуры металла, тогда начинается быстрое охлажденіе, потребное для закаливанія. Подобное соприкосновеніе образуется въ соляномъ растворѣ при менѣе возвышенной температурѣ, такъ-какъ точка кипѣнія его выше точки кипѣнія воды. Мы видимъ, слѣдовательно, что явленія, происходящія въ раскаленныхъ сосудахъ, объясняются весьма естественно и вовсе не противорѣчатъ принятой теоріи теплоты. Но Бутиньи полагаетъ необходимымъ, для объясненія этихъ явленій, допустить четвертое состояніе тѣлъ, названное имъ шарообразнымъ (сфероидальнымъ), при которомъ они обнаруживаютъ особыя свойства. Въ такомъ случаѣ, ртуть при обыкновенной температурѣ находится въ шарообразномъ состояніи, въ сосудѣ стеклянномъ, желѣзномъ, платиновомъ..; вода въ закопченномъ стеклянномъ сосудѣ, на жирныхъ поверхностяхъ, на листьяхъ нѣкоторыхъ растеній, принимаетъ шарообразный видъ, не смачивая ихъ. Всѣ подобныя явленія зависятъ просто отъ соотношенія между взаимнымъ сцѣпленіемъ частицъ жидкости и прилипанія ея къ стѣнкамъ сосуда; отъ нагрѣванія это соотношеніе измѣняется, прилипаніе дѣлается слабѣе, и наконецъ когда оно будетъ вдвое слабѣе сцѣпленія между частицами жидкости, соприкосновеніе съ сосудомъ прекращается, и только незначительная часть теплоты проникаетъ въ жидкость. Единственный фактъ, который трудно объяснить, состоитъ въ томъ, что въ раскаленномъ сосудѣ кипѣніе не происходитъ даже въ пустомъ пространствѣ. Бутиньи удостовѣрился въ этомъ, даже употребляя сернистую кислоту; для поглощенія образовавшихся паровъ онъ окружалъ тигель глетомъ. Но должно замѣтить, что въ пустомъ пространствѣ испареніе замѣтнымъ образомъ ускоряется; отчего температура шарика необходимо понижается. Кромѣ-того, какъ мы увидимъ далѣе, кипѣніе можетъ не происходить при высокой температурѣ и довольно слабомъ давленіи, если изъ жидкости былъ выгнанъ предварительно весь воздухъ, а жидкость въ раскаленномъ сосудѣ, особливо въ пустомъ пространствѣ, должна очень скоро потерять поглощенный ею воздухъ.

262. Временная несгораемость животныхъ тканей.—Раз-

смотрѣнныя нами явленія объясняютъ нѣкоторые повидимому необъяснимые факты; такъ совершенно достовѣрно, что можно безвредно погрузить руку въ свинецъ, мѣдь или чугунъ, въ расплавленномъ состояніи; можно взять рукою раскаленную плитку, лизнуть ее языкомъ и не обжечься — лишь бы она была достаточно раскалена. Можно мять руками расплавленную стеклянную массу, погруженную въ воду. Факты эти издавна извѣстны литейщикамъ, но имъ вообще не вѣрили, пока Бутиньи не изслѣдовалъ ихъ тщательно на опытѣ. Подобные опыты подробно описаны въ 1808 году, въ письмѣ къ Тиллоху (Tilloch) *), и потомъ объяснены сближеніемъ ихъ съ явленіемъ, которое представляетъ капля воды, медленно испаряющаяся въ раскаленномъ сусудѣ. Вотъ объясненіе, приводимое Бутиньи: кожа всегда имѣетъ нѣкоторую влажность, особливо подъ вліяніемъ невольнаго опасенія предъ началомъ опыта, и потому нѣтъ соприкосновенія между кожею и нагрѣтымъ тѣломъ. Впрочемъ лучше смочить руку водою или эѳиромъ. Должно замѣтить, что если жидкость очень раскалена, то можно почувствовать сильное дѣйствіе жара на ненагруженную часть руки близъ поверхности жидкости, вслѣдствіе испускаемой ею лучистой теплоты.

Мы видѣли, что эѳиръ принимаетъ шарообразное состояніе надъ водою при 100°; Легаль (Legal) заключилъ на этомъ основаніи, что, смочивъ руку эѳиромъ, можно безвредно погрузить ее въ кипятокъ, и опытъ подтвердилъ это предположеніе.

263. Дѣйствіе силы сцѣпленія на кипѣніе. — Какъ можно понизить температуру воды ниже 0°, безъ того чтобъ она замерзла, такъ можно и возвысить ее выше точки кипѣнія безъ того чтобъ обнаружилось это явленіе—стоитъ воду совершенно лишить воздуха. Делюкъ первый достигъ этого результата. Онъ доводилъ воду въ ретортѣ съ длинною шеею до температуры 112°, безъ того чтобъ она кипѣла. Онъ замѣтилъ также, что спиртъ въ термометрахъ кипитъ очень трудно, если вполнѣ лишить его воздуха. Делюкъ объясняетъ эти явленія силою сцѣпленія между частицами жидкости, которая мѣшаетъ имъ разъединиться, чтобъ принять парообразное состояніе **). Если, напротивъ-того, въ водѣ содержится воздухъ, то выдѣляясь въ видѣ пузырьковъ, онъ нарушаетъ сцѣпленіе жидкихъ частей, а пары выдѣляются въ образовавшихся свободныхъ мѣстахъ. При отсутствіи воздуха, пары могутъ образоваться только

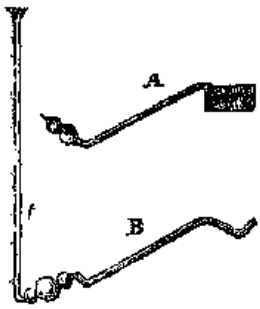
*) Bibliothèque britannique, tome XLI p. 382.

**) Introduction à la physique terrestre.

при поверхности жидкости. Въ открытыхъ сосудахъ кипѣніе продолжается, потому-что воздухъ возобновляется на поверхности жидкости; въ сосудѣ же съ длиннымъ горломъ, гдѣ нѣтъ притока воздуха, кипѣніе происходитъ съ трудомъ и порывисто.

Это объясненіе было подтверждено Доннэ (Donny, въ 1846-мъ году *) въ весьма любопытномъ трудѣ, гдѣ онъ доказываетъ нѣсколькими опытами дѣйствіе сцѣпленія въ жидкостяхъ, лишенныхъ воздуха. Онъ приготовилъ родъ водянаго молотка, въ видѣ представл. на фиг. 152 (A), и погрузилъ конецъ его въ соляной растворъ, при 130, кипѣнія не обнаружилось, несмотря на то, что давленіе у поверхности воды, ненагрѣтой, было весьма незначительно. При 138° произошло быстрое вспѣненіе, и вода была съ силою брошена въ шарики; иногда же снарядъ разбивался на части. Слѣдовательно, сила сцѣпленія жидкихъ частицъ, между собою, въ состояніи уравновѣсить давленіе трехъ атмосферъ, т.-е. водянаго столба въ 30 метровъ, которое соотвѣтствуетъ упругости паровъ при 135°.

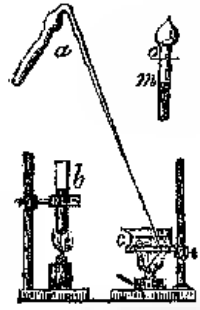
фиг. 152.



Если же вода содержитъ воздухъ, то, несмотря на трубку съ ртутью въ 30^{cm} вышины, придѣланную къ снаряду (B), пары начинаютъ образоваться при температурѣ соотвѣтствующей давленію жидкости, которую пузырьки пара преспокойно вытѣсняютъ въ шарики.

Другой опытъ Доннэ произвелъ съ трубкою, раздутою въ шарикъ при *a* (фиг. 153), и оканчивающеюся остріемъ въ метръ длиною, съ колѣномъ при *a*. Онъ наполняетъ ее кипящею, перегнанною водою; для сего онъ нагрѣвалъ ее, чтобъ выгнать воздухъ, потомъ давалъ ей остыть, погрузилъ кончикъ въ кипящую воду при *c* **), затѣмъ онъ повторялъ кипяченіе, при охлажденіи снаряда ртуть изъ подставленнаго сосуда поднималась по тонкой трубкѣ, какъ въ барометрѣ. Если тогда нагрѣвать трубку при *a*, между-тѣмъ какъ конецъ ея остается погруженнымъ въ ртуть, то происходятъ порывистые толчки, отъ кото-

фиг. 153.



*) Annales de chimie et de physique, 3-e serie, t. XVI.

**) Такимъ-образомъ и трубка *A* фиг. 622, была очищена отъ воздуха; только по окончаніи операціи она была закрыта надъ шарикомъ.

рыхъ шарикъ наконецъ лопается и осколки разносятся на довольно значительное разстояніе.

Донни погружалъ еще въ кипятокъ запаянную трубку съ водою *m* (фиг. 153), тщательно лишенную воздуха, когда температура доходила до 100°, онъ разрѣзалъ трубку въ *o* и быстро нагрѣвалъ надъ спиртовою лампою, какъ видно на фигурѣ *b*. Вскорѣ происходилъ сильный взрывъ и всю жидкость выбрасывало изъ трубки.

Приведемъ еще слѣдующій опытъ. Гали-Казала (Galy-Cazalat) лишнимъ воздуха воду въ стеклянной колбѣ посредствомъ кипяченія, и поверхность воды покрылъ слоемъ масла. Послѣ охлажденія онъ постепеннымъ нагрѣваніемъ довелъ ее до 123°, безъ того чтобъ она кипѣла. Спустя нѣсколько минутъ произошелъ взрывъ, который выбросилъ изъ колбы значительную часть воды, а иногда даже разбивалъ сосудъ. Эти факты наводятъ на объясненіе нѣкоторыхъ взрывовъ паровиковъ, какъ мы ниже увидимъ.

264. Вліяніе растворенныхъ веществъ на кипѣніе.— Температура кипѣнія жидкости не измѣняется отъ примѣси нерастворимаго вещества; дѣло другое, когда образуются соединеніе или растворъ. Если въ одной жидкости растворить другую болѣе летучую, точка кипѣнія понижается; и тѣмъ болѣе, чѣмъ значительнѣе примѣсь летучей жидкости. Такое явленіе замѣчается, напр., при раствореніи алькоголя въ водѣ. Совершенно противоположное имѣетъ мѣсто отъ прибавленія къ водѣ сѣрной кислоты. Образующіеся пары представляютъ иногда смѣсь паровъ той и другой жидкости, иногда же опредѣленное соединеніе ихъ, что замѣчается съ нѣкоторыми кислотами, при извѣстной степени ихъ крѣпости.

Соляные растворы.—Температура кипѣнія всегда возвышается при раствореніи соли въ водѣ и тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше количество растворенной соли. Напримѣръ вода, содержащая 10, 20, 30, 40 процентовъ поваренной соли, кипитъ при 101°,5, 103°,5, 105°,5 и 108°. Легранъ изучилъ этотъ вопросъ въ подробности *); онъ нашелъ, что температура ненасыщеннаго раствора возвышается мало-по-малу по мѣрѣ испаренія, и наконецъ дѣлается постоянною, тогда растворъ насыщенъ. Представляя повышеніе точки кипѣнія координатами кривой линіи, абсциссы которой выражаютъ количество

*) Annales de chimie et de physique, 2 me série t. LIX

солей, растворенное въ 100 частяхъ воды, онъ получилъ кривыя линіи двоякаго рода, однѣ изогнутыя въ одну только сторону, выпуклыя или вогнутыя къ линіи абциссъ, другія съ точкою уклоненія передъ или послѣ выпуклой части кривой; впрочемъ вообще ординаты возрастаютъ вмѣстѣ съ абциссами

За температуру кипѣнія насыщеннаго раствора должно принимать не температуру, при которой соль начинаетъ осаждаться, а ту, которая обнаруживается во время осажденія. Дѣйствительно, несмотря на движеніе жидкости во время кипѣнія, температура все болѣе-и-болѣе возвышается, перейдя за предѣлъ насыщенія; но какъ-скоро образуется осажденіе, температура тотчасъ понижается до извѣстной точки; и уже болѣе не измѣняется. Такъ, напримѣръ, Леграпъ могъ нагрѣть растворъ углекислаго поташа до 140°, безъ осажденія соли, потомъ образовалось сильное вспѣненіе въ сопровожденіи обильнаго осадка, и температура понизилась на 135°; причемъ и осталась постоянною.

Леграпъ замѣтилъ, что кипѣніе соляныхъ растворовъ въ стеклянныхъ сосудахъ происходитъ сперва правильно, но потомъ дѣлается порывистымъ, когда весь воздухъ выгнанъ изъ раствора Правильность кипѣнія возстановляется отъ прибавленія желѣзныхъ опилокъ. Нѣкоторыя соли, даже въ маломъ количествѣ распущенныя въ водѣ, причиняютъ толчки при кипѣніи, какъ напр. средній виннокислый поташъ; другія напротивъ-того предохраняютъ отъ нихъ

Вотъ таблица главнѣйшихъ результатовъ полученныхъ Леграномъ:

Температура кипѣнія различныхъ насыщенныхъ соляныхъ растворовъ.

Соль въ растворѣ.	Количество соли въ 100 частяхъ воды	Точка кипѣнія.	Соль въ растворѣ.	Количество соли въ 100 частяхъ воды.	Точка кипѣнія.
Хлористый содій . . .	41,2	108°,4	Нашатырь	88,9	114°,2
» калій . . .	59,4	108,3	Хлористый стронцій . .	117,5	117,85
» барій . . .	60,1	104,4	» кальцій . . .	325,0	179 5
Углекислая сода . . .	48,5	104,63	Средн. винокис. поташ	296,2	114,67
Фосфорнокислая сода	112,6	106,6	Углекислый поташъ .	205	135
Хлорнокислый поташъ	61,5	104,2	Азотнокислая известь.	362	151
Азотнокислая сода . .	224,8	121,0	Уксуснокислый натръ.	200	124,37
Азотнокислый амміакъ	неопредѣленное.	180.0	» кислый поташъ.	798,2	169

Въ заключеніе приведемъ таблицу точекъ кипѣнія различныхъ жидкостей:

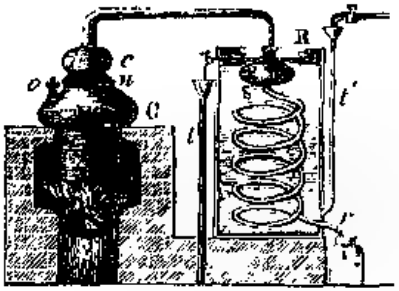
Точки кипѣнія различныхъ жидкостей подъ давленіемъ 760^{mm}.

Сѣрнистая кислота	—10°	Маслообр. голл. жидкость	85°	Фосфоръ	290°
Сѣрный эѳиръ	37	Крѣпкая азотн. кисл.	86	Сѣра	390
Сѣрнистый углерод.	47	Алькооль	79	Крѣпк. сѣрн. кисл.	325
Бромъ	63	Вода	100	Льняное масло . . .	316
Хлороформъ	63	Терпентинное масл.	157	Ртуть	360

265. Приложеніе законовъ кипѣнія. На законахъ кипѣнія основаны многія техническія примѣненія этого явленія къ перегонкѣ жидкостей, или къ сгущенію растворовъ.

Кубъ. — Чтобъ отдѣлить воду отъ растворенныхъ въ ней твердыхъ частицъ, употребляютъ кубъ, весьма древній снарядъ, изобрѣтеніе котораго приписываютъ Арабамъ. Ему придавали различную форму, и втеченіи послѣдняго полувѣка его значительно усовершенствовали, съ цѣлью ускорить производство и сократить издержки на топливо. Кубъ состоитъ обыкновенно изъ слѣдующихъ трехъ частей (фиг. 154) изъ собственно куба *Co*, шлема *c* и холодильника *RSr*.

Фиг. 154.



Въ кубъ наливается перегоняемая жидкость При нагрѣваніи жидкости до кипѣнія, пары ея подымаются въ шлемъ и переходятъ въ спирально извитую трубку, которая окружена холодною водою; здѣсь пары сгущаются, такъ какъ упругость ихъ выше соотвѣтствующей температурѣ холодильника. Возстановленная такимъ-образомъ жидкость вытекаетъ въ *r* Воду въ холодильникѣ необходимо часто возобновлять, такъ-какъ она скоро нагрѣвается отъ скрытаго теплорода, выдѣляемаго изъ паровъ при сгущеніи; лучше всего, чтобы вода притекала постоянно черезъ наружную трубку *t'*, которая проводитъ ее къ нижней части холодильника, тогда-какъ теплая вода вытекаетъ сверху чрезъ боковой кранъ въ трубку *t*. Жидкость въ кубѣ возобновляютъ черезъ отверзтіе *o*, не имѣя надобности разнимать снарядъ.

Въ подобномъ снарядѣ перегоняютъ вино, чтобъ получить изъ него спиртъ; послѣдній, будучи летучѣе, переходитъ въ болѣе значительномъ количествѣ, чѣмъ вода. При вторичной перегонкѣ спирта получается собственно алкоголь.

При помощи куба можно на корабляхъ получать прѣсную воду, перегонкою морской воды. Изъ опытовъ Клемана и Фрейсине выводится, что полученная такимъ-образомъ прѣсная вода стоитъ только одинъ сантимъ за литръ, и что уголь, потребный для добыванія ея, занимаетъ только $\frac{1}{6}$ занимаемаго сю пространства, и вѣситъ только $\frac{1}{5}$ ея вѣса. Многія лица, исключительно пользовавшіяся подобною водою, чувствовали себя такъ же хорошо, какъ и употребляя естественную прѣсную воду.

Выпариваніе. Если не требуется собирать часть жидкости, переходящую въ видѣ паровъ, какъ напр. при сгущеніи растворовъ, то подобное дѣйствіе называется выпариваніемъ и можетъ производиться различными способами. Выпариваніе происходитъ даже при обыкновенной температурѣ, если испареніе ускоряется движеніемъ воздуха, какъ напр. на градирахъ на соловарняхъ: соленую воду наливаютъ въ родъ стѣны, составленной изъ фашинъ, по направленію перпендикулярному къ направленію господствующихъ вѣтровъ. Жидкость, раздробляясь по вѣтвямъ градира, представляетъ значительную поверхность для испаренія

Если при выпариваніи температура не должна быть возвышена, то надъ выпарнымъ котломъ дѣлаютъ пустоту, вытѣсняя воздухъ самими же парами и потомъ запирая всѣ отверстія, или же выкачивая его пневматическою машиною. Въ такомъ случаѣ кипѣніе воды происходитъ ниже 100°. Пары сгущаются въ холодильникахъ и образовавшаяся жидкость собирается въ закрытомъ сосудѣ, откуда по временамъ изливается. Способъ этотъ примѣняется въ обширныхъ размѣрахъ на сахарныхъ заводахъ

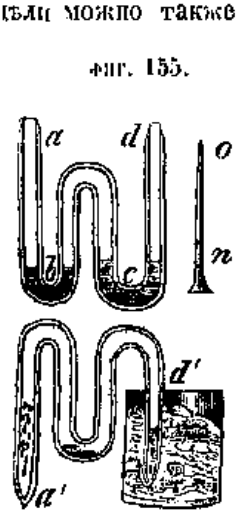
IV. Обращеніе въ жидкость паровъ и газовъ.

266. Когда пространство насыщено парами, тогда для обращенія ихъ въ жидкое состояніе можно употребить два способа—охлажденіе или давленіе Если пары не имѣютъ возможно бо́льшей упругости, то оную увеличиваютъ, уменьшая объемъ или понижая температуру. Вещества, газообразныя при обыкновенныхъ обстоятельствахъ, можно разсматривать, какъ пары весьма далекіе отъ точки насыщенія. Слѣдовательно ихъ можно привести къ этой точкѣ и превратить въ жидкость посредствомъ достаточнаго охлажденія или значительнаго давленія, или же посредствомъ того и другаго вмѣстѣ Нѣкоторые газы сгущаются легко, такова сѣрнистая кислота, которую достаточно охладить до—10°, подъ давленіемъ 760^{mm}. Азотноватая кислота составляетъ предѣлъ между жидкими тѣлами и газообразными при обыкновенной температурѣ, потому-что она сгущается въ жидкость при +28°

Первый приведенный въ жидкое состояніе газъ былъ амміакъ: Фанъ-Марумъ помѣстилъ пробирной стаканчикъ наполненный амміачнымъ газомъ надъ ртутью, подъ колоколъ сгустительнаго насоса,

и увидѣлъ, что ртуть мало-по-малу подымалась въ стаканчикѣ и наконецъ совершенно его наполнила. Въ 1823 году, Фараде нашелъ весьма простой способъ обращать въ жидкость хлоръ и другіе газы *): въ трубку изъ очень толстаго стекла, изогнутую наподобіе буквы U, вводятъ матеріалы, которые при смѣшиваніи и нагрѣваніи выдѣляютъ газъ, ихъ соединяютъ въ одномъ концѣ трубки, а другой запаиваютъ на лампѣ потомъ запаянный конецъ погружаютъ въ охлаждающую смѣсь, а противоположный осторожно нагрѣваютъ, чтобъ ускорить выдѣленіе газа. Не находя себѣ истока, газъ все болѣе-и-болѣе сгущается въ трубкѣ, упругость его увеличивается и, наконецъ, онъ осаждается въ жидкомъ видѣ въ охлаждаемой части трубки. Если смѣшиваемые матеріалы производятъ сильное выдѣленіе газа уже при обыкновенной температурѣ, то невозможно бываетъ запаять конецъ трубки вслѣдствіе давленія газа изнутри; въ такомъ случаѣ одно изъ веществъ вводится въ трубку въ маленькой платиновой чашечкѣ, такъ что оно не смѣшивается съ другимъ, и когда трубка уже запаяна, то чашечку опрокидываютъ сотрясеніемъ трубки. Для послѣдней цѣли можно также употреблять изогнутую трубку $abcd$ (фиг. 155); вещества вводятся въ b и c черезъ отверстія a и d, которыя немедленно запаиваются, потомъ, обращая трубку, сводятъ оба вещества въ одинъ конецъ. Для измѣренія давленія въ трубкѣ, Фараде употреблялъ маленькій манометръ изъ тонкой трубочки, въ средину которой введена капля ртути; предварительно опредѣляютъ какому давленію соотвѣтствуетъ извѣстное положеніе капли въ манометрѣ.

фиг. 155.



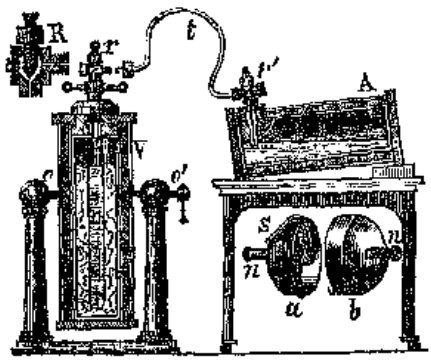
Дависъ Гильбертъ указалъ на способъ получить приблизительно относительный вѣсъ полученной жидкости: способъ состоитъ въ введеніи въ трубку стеклянныхъ шариковъ различнаго относительнаго вѣса; плотность жидкости соотвѣтствуетъ плотности шарика плавающаго въ срединѣ жидкости.

267. Приведеніе угольной кислоты въ жидкое и твердое состояніе. Въ 1835 году Тилорье успѣлъ нетолько получить жидкую углекислоту въ значительномъ количествѣ, но даже замо-

*) Annales de chimie et physique, 2-te serie, t. XXIV.

розить часть полученной жидкости. До него сгущеніе газовъ производили только въ весьма малыхъ количествахъ. Снарядъ Тилорье состоитъ изъ чугуннаго сосуда V (фиг. 156), вращающагося около оси OO'; емкость его около 6 или 7 литровъ. Въ сосудъ этотъ насыпаютъ углекислой соды (1800 грам мовъ), наливаютъ воды при 35—40° (4½ литровъ), и вводятъ мѣдную трубочку *c*, наполненную сѣрною кислотою (100гр). Потомъ завинчиваютъ отверзтіе сосуда и обращаютъ его вокругъ оси *oo'*; сѣрная кислота обливаетъ углекислую соду и выдѣляетъ изъ нея угольную кислоту. Газъ переводится въ пріемникъ A черезъ мѣдную трубку *t*, придѣланную посредствомъ подвижныхъ гаекъ. Въ *r* и *r'* находятся краны, которые должны выдерживать сильнѣйшее давленіе *R* представляетъ весьма простое устройство, вполнѣ выполняющее это условіе: винтъ съ конической оконечностію плотно прижимается къ отверзтію, чрезъ которое освобождается газъ, и совершенно препятствуетъ дальнѣйшему его выдѣленію. Газъ обращается въ жидкость въ пріемникѣ *A*, такъ-какъ температура въ немъ ниже, чѣмъ въ сосудѣ V, гдѣ не менѣе 30°. При температурѣ 15° въ *A*, давленіе газа равняется 50-ти атмосферамъ. Когда вся угольная кислота выдѣлилась изъ соды, тогда запираютъ кранъ *r'*, и сосудъ V наполняютъ новыми матеріалами. Повторяя этотъ процессъ пять или шесть разъ, можно получить до двухъ литровъ жидкой угольной кислоты.

Фиг. 156.



Чугунъ не составляетъ достаточно надежный матеріалъ для снарядовъ Тилорье, такъ-какъ они должны выдерживать очень сильное давленіе; въ этомъ убѣдились на несчастномъ опытѣ; въ парижской фармацевтической школѣ разорвало подобный снарядъ и осколками оторвало обѣ ноги у Г. Генри. Вслѣдствіе чего Мареска и Донни придумали устройство, представляющее огромное сопротивленіе. Снарядъ ихъ состоитъ изъ цилиндрическаго свинцоваго сосуда, плотно вложеннаго въ мѣдный, который въ свою очередь окруженъ желѣзными обручами (фиг. 156). На концахъ цилиндра находятся желѣзныя пластинки, соединенныя между собою желѣзными прутами. Подобные сосуды могутъ выдерживать давленіе 1000 атмосферъ, а въ опытахъ надъ угольною кислотою давленіе не превышаетъ 150 атмосферъ.

Для полученія жидкой угольной кислоты изъ пріемника A, его наклоняютъ такъ, чтобы трубочка, идущая отъ крана r' была погружена въ жидкость, и потомъ отпираютъ кранъ,—жидкость съ силою выбрасывается въ подставленный сосудъ. Выпущенная жидкая угольная кислота начинаетъ испаряться, отъ поглощенія окрытаго теплорода температура понижается до—70°, и часть жидкости переходитъ въ твердое состояніе въ видѣ бѣлыхъ клочьевъ. Если при открытіи крана не наклонить сосуда, какъ выше сказано, то струя газа, освободившись изъ-подъ давленія 30 или 40 атмосферъ, до того охлаждается отъ чрезвычайнаго расширенія, что переходитъ нетолько въ жидкое, но и въ твердое состояніе, въ видѣ бѣлыхъ хлопьевъ, сопровождающихъ струю. Для собиранія этихъ хлопьевъ, Тилорье употребляетъ круглую коробку изъ двухъ плотно пригнанныхъ половинъ *a* и *b* (фиг. 156); струя газа вводится черезъ трубочку *s*, по направленію касательной къ окружности коробки, при выходѣ изъ трубочки, струя встрѣчаетъ косвенную пластинку, которая сообщаетъ ей вращательное движеніе, вслѣдствіе чего клочья твердой угольной кислоты собираются въ срединѣ коробки въ видѣ губчатой массы. Трубки *n*, *n* служатъ для сообщенія внутренности коробки съ атмосфернымъ воздухомъ. Термометръ понижается въ струѣ угольной кислоты до—93°.

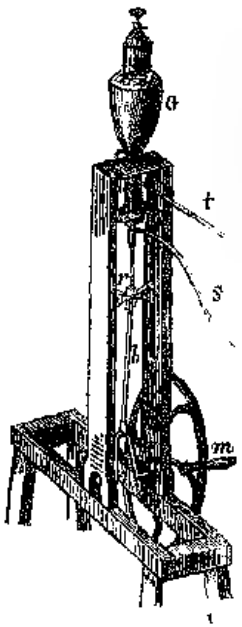
Клочья угольной кислоты весьма медленно испаряются на воздухѣ, вслѣдствіе поглощенія скрытаго теплорода образующимся газомъ и слабой его теплопроводности. Снѣжинка угольной кислоты скользитъ по гладкой поверхности, удаляясь отъ приближенія руки, что объясняется сильнѣйшимъ выдѣленіемъ изъ нея газа со стороны теплой руки. На кожу твердая угольная кислота не производитъ сильнаго ощущенія холода, будучи отдѣлена отъ тѣла слоемъ выдѣляющагося газа. Если же образуется соприкосновеніе, вслѣдствіе внѣшняго давленія, то ощущается боль въ родѣ обжога, и кожа буреетъ, какъ отъ прикосновенія раскаленнаго желѣза.

Если къ твердой угольной кислотѣ прилить эѳира, который дѣлаетъ ее лучшимъ проводникомъ теплоты, то температура смѣси понижается ниже — 90°. Въ пустомъ же пространствѣ она доходитъ до — 100°. Этою смѣсью можно въ короткое время заморозить килограммъ ртути. Фараде заморозилъ такою смѣсью жидкую угольную кислоту въ запаянной стеклянной трубкѣ, и получилъ плотную прозрачную массу въ видѣ льда.

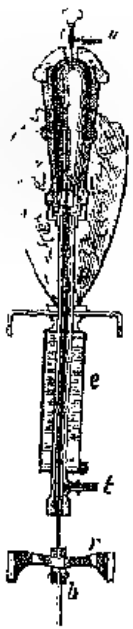
268. *Снарядъ Біанки.* Наттереръ успѣлъ привести въ жидкое и

даже въ твердое состояніе довольно значительныя количества газовъ, сгущая ихъ въ стволѣ воздушнаго ружья. Біанки устроилъ, по указаніямъ Дюма, снарядъ для сгущенія газовъ помощью насоса. Снарядъ этотъ представленъ на фиг. 157 и 158. Высушенный газъ приводится трубкою *s* (фиг. 157) въ насосъ *p* (фиг. 158), которымъ вгоняется въ резервуаръ *o* изъ кованнаго желѣза. Резервуаръ этотъ емкостью въ 700 куб. сантиметр., можетъ выдерживать давленіе 600 до 700 атмосферъ. Клапанъ *s* съ шарообразною головкою препятствуетъ обратному теченію газа. Такъ какъ нѣкоторые газы въ жидкомъ видѣ разъѣдаютъ желѣзо, то внутренность сосуда обливаютъ мѣдью. Поршень насоса приводится въ движеніе колѣнчатою осью, снабженною маховымъ колесомъ *m* (фиг 157); перекладина *r* служитъ для правильности движенія поршня. Насосъ окруженъ широкою трубкою *e*, въ которой обращается струя холодной воды, потому-что онъ быстро нагрѣвается отъ тренія поршня и отъ теплоты, освобождаемой при сгущеніи газа. Наконецъ, широкій сосудъ *g* (фиг. 157 и 158), съ охлаждающею смѣсью, привинчивается къ основанію резервуара. Когда желаютъ получить добытую жидкость, тогда отвинчиваютъ резервуаръ отъ насоса и выпускаютъ ее черезъ отверстіе *o*. Жидкость собирается въ тонкій стеклянный стаканчикъ отъ 3-хъ до 4^{cm} въ поперечникѣ, вставленный въ отверстіе стклянки съ пемзою, смоченною сѣрною кислотою (фиг 159). Безъ этой предосторожности сырость осѣла бы на поверхности стаканчика и сдѣлала бы его непрозрачнымъ.

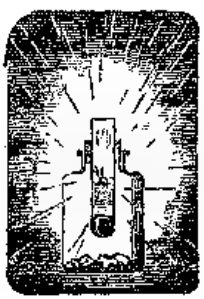
фиг. 157.



фиг. 158.



фиг. 159.



Снарядъ этотъ употреблялся главнымъ образомъ для приготовленія закиси азота въ

жидкомъ видѣ *). При испареніи полученной жидкости происходитъ сильнѣйшее пониженіе температуры, особенно подъ колоколомъ воздушнаго насоса; въ послѣднемъ случаѣ, часть жидкости даже замерзаетъ. Холодъ такъ великъ, что металлы, при погруженіи въ эту жидкость, издаютъ шипѣніе наподобіе каленаго желѣза, брошеннаго въ воду. Закись азота въ жидкомъ или твердомъ состояніи, производитъ на кожу ощущеніе сильнаго обжога. Температура жидкой закиси гораздо ниже температуры жидкой угольной кислоты, смѣшанной съ эѳиромъ—закись азота кипитъ при погруженіи въ упомянутую смѣсь. Если приготовить смѣсь изъ жидкой угольной кислоты, жидкой закиси азота и эѳира, то получится жидкость, въ которой алькоголь сгущается до того, что не вытекаетъ изъ опрокинутаго сосуда. Ртуть, погруженная въ эту смѣсь, замерзаетъ, раскаленный уголекъ, брошенный на ея поверхность, горитъ столь же ярко, какъ въ газообразной закиси азота, такимъ-образомъ въ одномъ и томъ же сосудѣ можно получить бѣлокаильный жаръ и холодъ, при которомъ ртуть замерзаетъ.

269. Новѣйшіе опыты Фараде. Въ 1845 году Фараде возобновилъ свои опыты надъ сгущеніемъ газовъ, при помощи сильнѣйшаго холода производимаго твердою угольною кислотою **). Газы сдавливались въ трубкѣ, изогнутой въ букву *U* и погруженной сгибомъ въ смѣсь Тилорье изъ твердой угольной кислоты и эѳира. Сжатіе производилось двумя насосами, первымъ газъ сгущался до 10 или 20 атмосферъ, а подъ вторымъ достигалъ 50 атмосферъ. Если желали получить сильнѣйшій холодъ, то охлаждающую смѣсь ставили подъ колоколомъ, пропустивъ, чрезъ находящееся въ немъ отверстіе, одно колѣно трубки *U*, при помощи кружка изъ пакли, такъ чтобы можно было, приподнимая и опуская изогнутую трубку, видѣть, что происходитъ внутри ея. Изогнутая буквою *U* трубка соединяется гибкою, мѣдною трубкою съ сгустительнымъ насосомъ. Когда подъ колоколомъ образовалось пустое пространство, то температура понижалась до -110^0, такъ что газы, освобождающіеся изъ смѣси, производили давленіе только въ 30^{mm}.

Только пять газовъ еще не удалось привести въ жидкое состояніе: водородъ, кислородъ, азотъ, окись углерода и окись азота. Пер-

*) Въ такомъ случаѣ поршень не смазывается жирнымъ веществомъ, а просто смачивается водою, иначе жирное вещество перегорѣло бы въ закиси азота отъ высокой температуры, происходящей при сжатіи этого газа.

**) Annales de chimie et de physique (3), t. XV.

вые два газа были подвергнуты давленію 27 атмосферъ, окись углерода давленію 40 атмосферъ, азотъ и окись азота давленію 50 атмосферъ; всѣ эти опыты производились при температурѣ—110°. Должно замѣтить, что именно эти газы, или составные ихъ элементы, входятъ въ составъ органическихъ веществъ. Приводимъ таблицу газовъ, которые удалось привести къ капельножидкое или твердое состояніе, съ показаніемъ въ послѣдующемъ случаѣ точки плавленія.

Только въ жидкое состояніе приведены:	ЗАМОРОЖЕНЫ:	
Маслородный газъ.....	* Бромистовод. кислота при.....— 8°	* Аммякъ при....—75°
Хлористоводородная кислота..... ...	* Сиперокъ при...—35°	Сѣрнистая кисл. при—76°
Фтористоборная кислота.	Іодистоводород. кислота при.....—51°	* Сѣрнистоводород. кислота при.....—86°
Фтористокремнеая кислота.....	* Угольная кислот.—58°	Закись азота при—100°
Фосфорный водородъ...	Окись хлора при..—60°	
* Мышьяковистый водородъ.....		
* Хлоръ.....		

Газы, означенные звѣздочкою, могутъ быть обращены въ жидкость безъ содѣйствія сжатія, однимъ охлажденіемъ до — 80°. Для сгущенія газовъ, помѣщенныхъ въ первомъ столбцѣ, температура понижалась до—110°. Только окрашенные газы, хлоръ и окись азота, даютъ цвѣтныя жидкости, остальные газы безцвѣтны и въ жидкомъ, и въ твердомъ состояніи

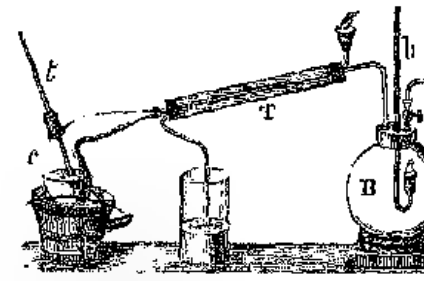
§ 3. Физическія свойства паровъ. — Давленіе. — Скрытый теплородъ. — Плотность.

I. Измѣреніе упругости паровъ.

270. Измѣреніе давленія паровъ между 0° и 100°. — Многіе знаменитые физики занимались измѣреніемъ упругости паровъ. Дальтонъ, одинъ изъ первыхъ, составилъ таблицы расширенія паровъ, по вышеизложенному способу (249). Но способъ, имъ употребленный, можетъ служить только для температуръ ниже 100°. Начиная съ этой температуры, уровень въ паровой трубкѣ понижается ниже уровня въ чашѣ, такъ-что дальнѣйшее измѣреніе давленія дѣлается невозможнымъ. Дальтонъ употреблялъ въ такомъ случаѣ особый маленькій снарядъ (фиг. 140). Давленіе паровъ выводилось изъ разности уровней въ обѣихъ вѣтвяхъ, съ прибавкою высоты барометра.

Дюлонъ и Араго употребляли уже извѣстный способъ, который позволяетъ перейти за температуру 100° и основанъ на томъ, что упругость пара во время кипѣнія равняется атмосферному давленію. Жидкость заключается въ трубчатой ретортѣ *c* (фиг. 100), въ трубку которой вставленъ термометръ *t*. Шея реторты наклонена и сообщена съ колбою *B*, въ которой можно сгущать и разрѣжать воздухъ черезъ трубку *m*, снабженную крапомъ. Давленіе воздуха измѣряется манометромъ *b*. Черезъ муфту *T* пропускаютъ постоянную струю холодной воды. При помощи сего снаряда можно найти, какая температура соотвѣтствуетъ данной упругости паровъ; съ тою цѣлью сначала въ снарядѣ сгущаютъ воздухъ до требуемаго давленія, и потомъ жидкость приводятъ въ кипѣніе, причемъ термометръ *t* показываетъ температуру соотвѣтствующую сему давленію. Упругость паровъ остается въ этомъ случаѣ постоянною, потому-что пары, по мѣрѣ образованія, поглощаются въ части снаряда, окруженной трубкою *T*.

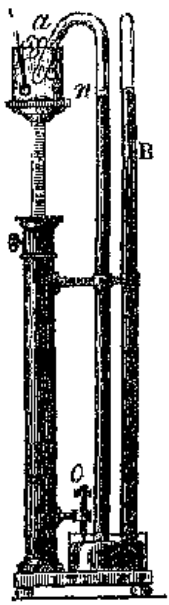
Фиг. 100



Производя последовательно подобные опыты при различныхъ давленіяхъ, можно составить таблицу соотвѣтствующихъ имъ температуръ.

271. Опыты при низкой температурѣ. — Гэ-Люссакъ употреблялъ слѣдующій способъ: жидкость вводится въ изогнутую барометрическую трубку *na*, представленную на фиг. 161-й. Оконечность пустаго пространства погружается въ охлаждающую смѣсь, вслѣдствіе чего вся жидкость туда перегоняется (256). При этомъ пары имѣютъ давленіе соотвѣтствующее температурѣ смѣси, температура замѣчается по термометру, погруженному въ охлаждающую смѣсь, а давленіе измѣряется разностью уровней въ изогнутой барометрической трубкѣ и барометрѣ *B*. Такимъ-образомъ Гэ-Люссакъ нашелъ, что и ледъ производитъ пары, давленіе которыхъ равняется упругости паровъ воды, при той же температурѣ.

фиг. 161.



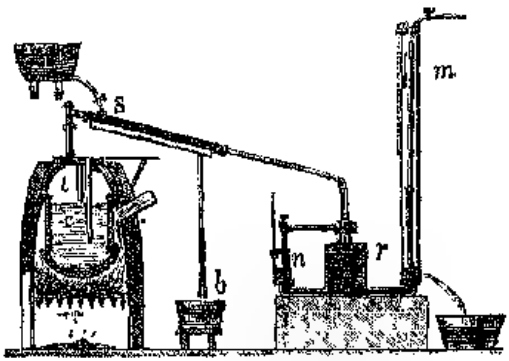
272. Опыты надъ высокими давленіями. — Для устройства предохранительныхъ снарядовъ при паровикахъ паровыхъ машинъ, необходимо опредѣлить, какимъ температурамъ соотвѣтствуютъ давленія выше тѣхъ, которыя могутъ измѣряться вышеописанными приборами. Для давленій свыше 8 атмосферъ до 1839 года имѣлись только опыты Арцбергера: онъ измѣрялъ давленія до 20 атмосферъ, на основаніи силы, потребной для поднятія предохранительнаго клапана. Несмотря на старательное устройство клапана, полученные результаты могли быть только приблизительно точны. Кромѣ-того, термометръ, показывавшій температуру, былъ погруженъ въ котелъ, гдѣ образовались пары, и потому будучи подверженъ сильному внѣшнему давленію необходимо уменьшался въ объемѣ и показывалъ слишкомъ возвышенную температуру.

Въ 1829 году, Дюлонгъ и Араго, по порученію парижской академіи наукъ, вслѣдствіе запроса отъ правительства, предпринялъ рядъ замѣчательныхъ опытовъ. Они измѣрили упругость паровъ до давленія 24 атмосферъ, при помощи воздушнаго манометра *). Фиг. 162-я

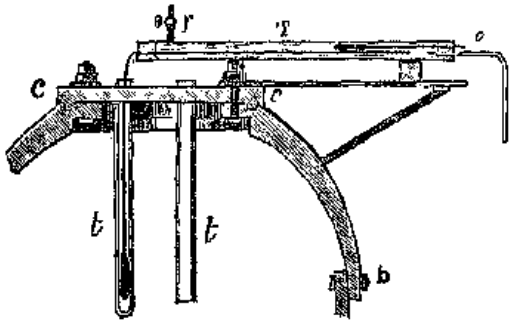
*) Annales de chimie et de physique, 3 serie, t. XLII.

представляетъ снарядъ, придуманный Дюлонгомъ: *c* — котелъ изъ листоваго желѣза, ёмкостью приблизительно въ 80 литръ, состоящій изъ части цилиндрической и двухъ полушарій, связанныхъ болтами. Въ *b* (фиг 163) показана эта связь, а въ *cc* — способъ прикрѣпленія, посредствомъ стальныхъ болтовъ, плоской крышки къ верхней части котла. Свинцовыя пластинки въ промежуткахъ нивовъ предохраняютъ котелъ отъ всякой течи. Котелъ этотъ былъ испробованъ при давленіи 60 атмосферъ, снабженъ предохранительнымъ клапаномъ и установленъ надъ печью достаточной величины, чтобы нагрѣваніе происходило постепенно. Черезъ отверстіе въ крышкѣ котелъ сообщается желѣзною трубкою съ чугуннымъ резервуаромъ *r* (фиг. 162-я, содержащимъ ртуть, которая поднимается въ воздушномъ манометрѣ *m*; уровень ртути въ резервуарѣ обозначается въ боковой трубкѣ *n*. Эта часть снаряда та же, какъ она употреблась въ приборѣ, который служилъ Дюлонгу и Араго для ихъ опытовъ надъ сжимаемостью воздуха, предпринятыхъ именно по случаю разысканій, о которыхъ идетъ рѣчь. Соединительная трубка *tsr* поднимается сперва по вертикальному направленію, потомъ спускается наклонно до резервуара *r*. Наклонная часть трубки содержитъ воду отъ поверхности ртути до вертикальной части трубки. *S* представляетъ холодильникъ, который постоянною струею воды, вытекающей въ *h*, охлаждаетъ трубку *S* осаждая въ ней пары, по мѣрѣ того какъ уровень ртути понижается, такъ что трубка эта остается постоянно наполненною водой. Для измѣренія температуры въ котлѣ, въ него пропущены черезъ крыш-

фиг. 162.



фиг. 163.



ку дна желѣзныя трубки t, t' (фиг. 162 и 163); одна изъ нихъ погружена въ воду, другая не доходитъ до ея уровня. Трубки наполнены ртутью, въ которую погружены термометры, предохраненные такимъ-образомъ отъ внѣшняго давленія, могущаго ихъ разбить или дать ложныя показанія. Оба термометра были постоянно почти согласны между собою, что доказываетъ, что пары и вода въ котлѣ находились всегда при одинаковой температурѣ. Для части термометрическихъ трубокъ, находившейся въ котлѣ b, сдѣлалась поправка. Часть эта, горизонтально загнутая, была окружена стеклянною муфтою T, чрезъ которую пропускалась постоянная струя воды опредѣленной температуры, замѣчаемой на термометрѣ Σ.

Опыты производились слѣдующимъ образомъ: пришедя воду въ котлѣ до кипѣнія и выгнавъ воздухъ черезъ открытый клапанъ, его запирали и при помощи крановъ уравнивали токи воды, вокругъ манометра m, въ трубкахъ S и T, въ печь накладывали столько топлива, чтобы произвести желаемую степень нагрѣванія, и затѣмъ ожидали, пока повышеніе ртути въ термометрахъ будетъ происходить весьма медленно; когда повышеніе столба въ термометрахъ наибольшее, замѣчали единовременно высоту манометра и термометровъ. Наблюденія, сдѣланныя за нѣсколько минутъ передъ тѣмъ, предохраняютъ отъ ошибокъ, вслѣдствіе недосмотра. Давленіе измѣряется упругостью воздуха въ манометрѣ, увеличенною вѣсомъ поднятаго ртутнаго столба, считая отъ уровня въ трубочкѣ (фиг 162), и уменьшенною вѣсомъ водянаго столба, высота котораго равняется разстоянію между уровнями S и n. Котелъ не позволилъ возвысить давленіе далѣе 24-хъ атмосферъ, потому-что за этимъ предѣломъ онъ пропускалъ воду въ швахъ. Вотъ таблица результатовъ, полученныхъ Дюлонгомъ и Араго. Давленія, соотвѣтствующія температурамъ выше 224°, были вычислены помощью формулы съ подставными величинами, которую мы приведемъ впослѣдствіи:

Таблица упругости водяныхъ паровъ отъ 100° до 265°.

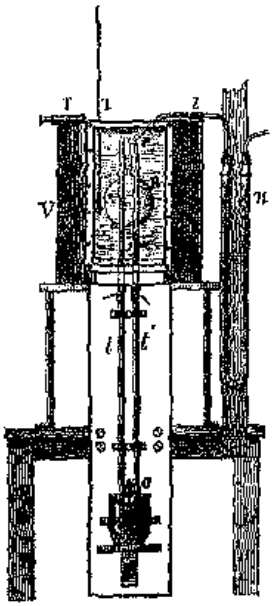
ДАВЛЕНІЕ. Выражено въ атмосферахъ.	ДАВЛЕНІЕ. Выраженное высотою ртутнаго столба въ миллиметрахъ.	ТЕМПЕРАТУРА.	Давленіе на квадратный сантиметръ, выраженное въ килограммахъ.	ДАВЛЕНІЕ. Выраженное въ атмосферахъ.	ДАВЛЕНІЕ. Выраженное высотою ртутнаго столба въ миллиметрахъ.	ТЕМПЕРАТУРА.	Давленіе на квадратный сантиметръ, выраженное въ килограммахъ.
1	0,76	100°	1,033	13	9,88	193°,70	13,429
1,5	1,14	112,2	1,549	14	10,64	197,19	14,462
2	1,52	121,4	2,066	15	11,40	200,48	15,495
2,5	1,90	128,8	2,582	16	12,16	203,60	16,528
3	2,28	135,1	3,099	17	12,92	206,57	17,561
3,5	2,66	140,6	3,615	18	13,68	209,40	18,594
4	3,04	145,4	4,132	19	14,44	212,10	19,627
4,5	3,42	149,06	4,648	20	15,20	214,70	20,660
5	3,80	153,08	5,165	21	15,96	217,20	21,693
5,5	4,18	156,80	5,681	22	16,72	219,60	22,726
6	4,56	160,20	6,198	23	17,48	221,90	23,759
6,5	4,94	163,48	6,714	24	18,24	224,20	24,792
7	5,32	166,50	7,231	—	—	—	—
7,5	5,70	169,37	7,747	25	19,00	226,30	25,825
8	6 08	172,10	8,264	30	22,80	236,20	30,990
9	6,84	177,10	9,297	35	26,60	244,85	36,155
10	7,60	181,80	10,330	40	30,40	252,55	41,320
11	8,36	186,03	11,363	45	34,20	259,52	46,485
12	9,12	190,00	12,396	50	38,00	265,89	51,650

273. Опыты Реньо. Обширнѣйшій трудъ объ упругости паровъ, при низкихъ и при самыхъ высокихъ температурахъ, принадлежитъ Реньо. Трудъ этотъ, вмѣстѣ съ тѣмъ, и самый замѣчательный, какъ по совершенству снарядовъ и точности методы, такъ и по тщатель-

ности, съ которою избѣгнуты или поправлены возможныя ошибки. Для температуръ ниже 100°, Реньо употреблялъ сначала способъ Дальтона, измѣнивъ въ немъ то, что служило поводомъ къ ошибкамъ *).

Фиг. 164 представляетъ устройство принятое Реньо: барометръ t и паровая трубка t', по возможности сходные между собою, погружены въ общую чашечку, снабженную винтомъ съ двумя остріями o, который служитъ для удобнѣйшей повѣрки барометра t. Обѣ трубки пропущены чрезъ обложенныя каучукомъ отверстія въ дно ящика V, изъ гальванизированнаго листоваго желѣза. Передняя сторона ящика снабжена вертикальнымъ стекломъ, черезъ которое видны оконечности трубокъ t, t'. Воду наполняющую ящикъ, постоянно взбалтывали, для уравненія температуры, и въ случаѣ нужды нагрѣвали спиртовою лампою, когда требовалась температура выше окружающаго пространства. Разность между уровнями ртути въ обѣихъ трубкахъ измѣряли помощью катетометра, и потомъ приводили ее къ нулю. Очевидно, что уровень ртути въ паровой трубкѣ долженъ всегда находиться внутри ящика.

Фиг. 164.



Реньо произвелъ другой рядъ опытовъ, слѣдующимъ образомъ: стеклянный шаръ B (фиг. 164), въ 500 кубическихъ сантиметровъ приблизительно, содержитъ маленькій запаянный пузырекъ, содержащій жидкость, лишенную воздуха. Шаръ снабженъ мѣднымъ горлышкомъ о трехъ вѣтвяхъ e. Передняя вѣтвь соединяется съ загнутою трубочкою, припаянною къ паровой трубкѣ; верхняя вѣтвь служитъ для сообщенія съ воздушнымъ насосомъ, черезъ трубку n, наполненную пемзою съ сѣрною кислотою. Высушивъ снарядъ повтореннымъ вытягиваніемъ и впусканіемъ воздуха, въ послѣдній разъ разряжаютъ воздухъ внутри его до возможной степени и запаиваютъ трубку $e\,i$. Потомъ шаръ B окружаютъ тающимъ льдомъ, и измѣряютъ упругость сухаго воздуха внутри прибора, опредѣливъ помощью катетометра разность высоты столбовъ въ трубкахъ t и t'. Затѣмъ выни-

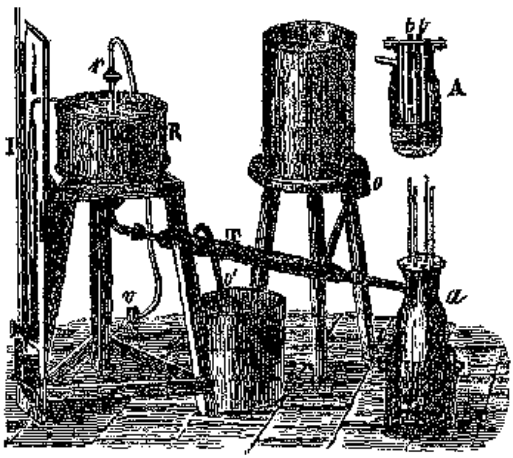
*) Annales de chimie et de physique, 3-e série, t. XI.

чаютъ ледъ и колбу слегка нагреваютъ угольками для того, чтобы пузырекъ внутри ея лопнулъ, и жидкость обратилась въ пары. Тогда температуру шара *B* повышаютъ или понижаютъ до требуемыхъ градусовъ, обозначаемыхъ на термометрѣ *T*, погруженномъ въ водяную баню, которую постоянно взбалтываютъ; упругость пара выводится изъ разности ртутныхъ столбовъ, за вычетомъ давленія воздуха, оставшагося въ шарѣ.

Для температуръ ниже 0° ящикъ *V* замѣняется стекляннымъ сосудомъ, въ который погружается только одинъ шаръ; въ сосудъ этотъ наливаютъ растворъ хлористаго кальція, температура котораго постепенно понижается прибавленіемъ льда. Способъ этотъ, кромѣ воды, годится и для другихъ жидкостей: опыты, произведенные надъ упругостью паровъ ртути, дали для температуры 50 и 100 градусовъ немного менѣе 0,1 и 0,5 миллиметра, допуская, что при 0 не образуется замѣтныхъ ртутныхъ паровъ.

Способъ основанный на кипѣніи.—Реньо употреблялъ также способъ, основанный на равенствѣ давленія паровъ и окружающей среды, во время кипѣнія. Мѣдный котелъ *a* (фиг 165) сообщается наклонною трубкою со стекляннымъ шаромъ *B*, емкостью въ 24 литры, вставлен-

фиг. 165



нымъ въ сосудъ *R* съ водою, температура которой можетъ быть измѣняема по произволу. Наклонная трубка окружена муфтою *T*, въ которой обращается вода, притекая въ *o* и выливаясь въ *o'*. Шаръ снабженъ горломъ развѣтвляющимся надвое. одна вѣтвь соединяется съ манометрическимъ приборомъ *J*, другая *r* — съ насосомъ разрядительнымъ или сгустительнымъ, посредствомъ котораго можно произве-

сти внутри снаряда желаемое давленіе, измѣряемое манометромъ *J*. Температуру воды въ котлѣ *a* показываютъ четыре термометра, погруженные въ желѣзныя трубки съ ртутью. Двѣ изъ этихъ трубокъ проникаютъ въ кипящую жидкость, остальныя двѣ находятся въ пару, не достигая жидкости, какъ это представлено въ разрѣзѣ котла, на фиг. *A*. Показанія термометровъ были всегда согласны между собою. Для части термометровъ внѣ котла, Реньо дѣлалъ поправку, принимая въ соображеніе показаніе термометра повѣшеннаго между верхними концами ихъ.

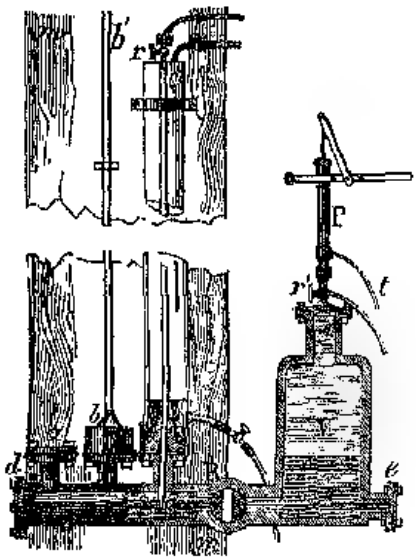
Вотъ таблица результатовъ полученныхъ Реньо, до 100°.

Упругость паровъ воды отъ —32° *до* +100°, *по Реньо*.

Температура.	Упругость паровъ	Температура.	Упругость паровъ.	Температура.	Упругость паровъ	Температура.	Упругость паровъ.
—32°	0mm,310	1°	4,940	34°	39,565	68	213,596
—31	0,336	2	5,302	35	41,827	69	223,165
—30	0,365	3	5,687	36	44,201	70	233,093
—29	0,397	4	6,097	37	46,691	71	243,393
—28	0,431	5	6,534	38	49,302	72	254,073
—27	0,468	6	6,998	39	52,039	73	265,147
—26	0,509	7	7,492	40	54,906	74	276,624
—25	0,553	8	8,017	41	57,910	75	288,517
—24	0,602	9	8,574	42	61,055	76	300,838
—23	0,654	10	9,165	43	64,346	77	313,600
—22	0,711	11	9,792	44	67,790	78	326,811
—21	0,774	12	10,457	45	71,391	79	340,488
—20	0,841	13	11,162	46	75,158	80	354,643
—19	0,916	14	11,908	47	79,093	81	369,287
—18	0,996	15	12,699	48	83,204	82	384,435
—17	1,084	16	13,536	49	87,499	83	400,101
—16	1,179	17	14,421	50	91,[illegible]82	84	416,298
—15	1,284	18	15,357	51	96,661	85	433,041
—14	1,398	19	16,346	52	101,543	86	450,344
—13	1,521	20	17,391	53	106,636	87	468,221
—12	1,656	21	18,495	54	111,945	88	486,687
—11	1,803	22	19,659	55	117,478	89	505,759
—10	1,963	23	20,888	56	123,244	90	525,450
—9	2,137	24	22,184	57	129,251	91	545,778
—8	2,327	25	23,550	58	135,505	92	566,757
—7	2,533	26	24,988	59	142,015	93	588,406
—6	2,758	27	26,505	60	148,791	94	610,740
—5	3,004	28	28,101	61	155,839	95	633,778
—4	3,271	29	29,782	62	163,170	96	657,535
—3	3,553	30	31,548	63	170,791	97	682,029
—2	3,879	31	33,406	64	178,714	98	707,280
—1	4,224	32	35,359	65	186,945	99	733,305
0	4,600	33	37,411	66	195,496	100	760,000
				67	204,376		

274. Опыты при высокихъ давленіяхъ.— Опыты эти производились вышеописаннымъ способомъ, только снарядъ былъ бо́льшаго размѣра и могъ выдерживать несравненно сильнѣйшее давленіе *). Стѣнки мѣднаго котла имѣли 5^{mm} толщины, и были скрѣплены крѣпкою желѣзною оковкою, какъ это представлено на фиг. 170, гдѣ котелъ означенъ буквою *C*. Емкость котла 70 литръ. Въ крышкѣ котла вдѣланы три желѣзныя трубки, наполненныя льнянымъ масломъ; въ двѣ изъ нихъ погружены ртутные термометры, такъ чтобы ртуть только немного выходила изъ крыши; въ третью трубку погруженъ резервуаръ воздушнаго термометра (186). Шаръ *B* (фиг. 165) замѣненъ крѣпкимъ мѣднымъ сосудомъ, въ 280 литръ ёмкостью; сосудъ сообщается снизу съ котломъ, при помощи трубки, охлаждаемой струею холодной воды. Въ верхней части сосуда находится отверстіе, снабженное двумя трубками, изъ которыхъ одна сообщается съ сгустительнымъ насосомъ, а другая трубкою *r* (фиг. 166) съ манометромъ съ свободнымъ воздушнымъ давленіемъ *cbb'*, точно такимъ же какъ онъ употребляется при опытахъ о законѣ Маріота.

фиг. 166.



Опыты производятъ слѣдующимъ образомъ: когда вода въ котлѣ готова закипѣть, сдавливаютъ воздухъ въ мѣдномъ резервуарѣ, *и*, при помощи водянаго насоса *P*, вгоняютъ ртуть въ трубку *bb'* до тѣхъ-поръ, пока она поднимется въ трубкѣ *cc'* до черты, сдѣланной въ нижней ея части, послѣ чего нѣсколько человѣкъ, производящихъ опытъ, замѣчаютъ съ величайшею тщательностью высоту ртути въ термометрахъ и въ трубкахъ *bb'* и *cc'*

Такимъ-образомъ Реньо́ производилъ опыты до давленія 28-ми атмосферъ. При 30-ти атмосферахъ котелъ до того расширился, что лопнулъ болтъ, соединявшій бруски оковки въ нижней части котла. Идти далѣе было бы безразсудно. Мы представимъ ниже таблицу главнѣйшихъ результатовъ, полученныхъ Реньо́.

*) Mémoires de l'Académie des sciences de Paris, t. XXI, p. 538.

275. Изслѣдованія Магнуса.—Упомянемъ, наконецъ, объ опытахъ Магнуса, сдѣланныхъ при помощи небольшаго снаряда, способнаго выдерживать давленіе, выше атмосфернаго *). Снарядъ этотъ состоитъ изъ трубки изогнутой буквою U, одна изъ вѣтвей которой оканчивается шарикомъ съ водою, лишенною воздуха и отдѣленною ртутью отъ другой вѣтви. Послѣдняя сообщается съ разрядительнымъ или сгустительнымъ воздушнымъ насосомъ. Трубка въ видѣ U погружена въ ванну, температуру которой можно измѣнять по произволу. Температуру эту показываетъ воздушный термометръ, раздвоенный резервуаръ котораго обнимаетъ вѣтви трубки формы U. Начинаютъ каждый опытъ тѣмъ, что въ снарядѣ устанавливаютъ опредѣленное давленіе, измѣряемое манометромъ, и потомъ наблюдаютъ высоту воздушнаго термометра. Магнусъ производилъ подобнымъ образомъ опыты до 111°.

276 Графическій способъ и формула интерполяціи.—Упругость паровъ весьма быстро увеличивается по мѣрѣ возрастанія температуры. До-сихъ-поръ не удалось вывести теоретическаго закона, связывающаго эти величины. Дальтонъ предложилъ слѣдующій законъ: упругость паровъ увеличивается по геометрической прогрессіи, когда температура возвышается по ариѳметической. Но опыты Реньо доказали, что законъ этотъ вѣренъ только для температуръ близкихъ между собою, а для температуръ, значительно отстоящихъ другъ отъ друга, онъ оказывается неточнымъ.

Слѣдовательно, для объясненія сего явленія необходимо было прибѣгнуть къ графическому способу, что и сдѣлалъ Реньо; для этого онъ представилъ температуры абсциссами, отложенными на горизонтальной линіи, а соотвѣтствующія давленія ординатами, и соединилъ концы послѣднихъ кривою линіею. Для большей точности построеніе дѣлалось прямо на мѣдной доскѣ, а не на бумагѣ, которая вслѣдствіе большей или меньшей влажности, могла бы сокращаться неравномѣрно. Разъ, что кривая проведена, можно при помощи ея найти упругость паровъ, соотвѣтствующую данной температурѣ.

Формула интерполяціи.—Другой способъ для достиженія той же цѣли представляютъ формулы интерполяціи; ихъ предлагали множество. Прони (De Prony) принялъ выраженіе слѣдующаго вида:

$$F = a\alpha^t + b\beta^t + c\gamma^t + \ldots,$$

*) Annales de chimie et de physique, 3-e série, t. XII.

и вычислилъ постоянныя величины помощью формулы Бетанкура. Докторъ Юнгъ (Yong) предложилъ формулу $F = (a + b\,t)^n$. Дюлонгъ и Араго опредѣляли упругость F выраженіемъ $F = (1 + 07153.t)^5$, гдѣ t представляетъ температуру, считаемую положительно или отрицательно, начиная со 100°. Единственная постоянная величина этой формулы была выведена изъ наблюденія при высшемъ давленіи. Реньо нашелъ, что эта формула, при помощи которой вычислены величины для давленій выше 24-хъ атмосферъ въ таблицѣ (стр. 425) согласуется съ данными, полученными изъ опыта при температурахъ выше 100°, но для низшихъ температуръ она не годится. Рошъ (Roche) предложилъ формулу $F = \frac{t}{a\alpha^{1+mt}}$ выведенную имъ изъ вычисленій, и до которой, съ своей стороны, дошли Клапейронъ (Clapeyron), Августъ (August), Вреде (de Wrede), Гольцманъ. Реньо, отъ котораго мы заимствуемъ эти данныя, нашелъ, что формула эта, всего съ тремя постоянными величинами, изображаетъ съ удивительною точностію полученные имъ результаты для значительной части термометрической скалы, и что вмѣстѣ съ тѣмъ она приложима къ парамъ эѳира и алкооля. Наконецъ Біо (Biot) предложилъ въ 1844 году выраженіе:

$$(h) \ldots \; Log.\, F = a + b\alpha^t + c\beta^t,$$

которое даетъ логариѳмъ упругости.

Реньо принялъ именно эту формулу; она согласуется со всѣми опытами его между — 30° и 232°. Для вычисленія пяти постоянныхъ величинъ, онъ употребилъ температуры — 20°, 40°, 100°, 160°, 220°, и давленія F, имъ соотвѣтствующія: $0^{mm},91$; $54^{mm},91$; 760^{mm}; $4651^{mm},62$; $17390^{mm},36$.

Слѣдующая таблица даетъ возможность сравнить числа полученныя при помощи означенной формулы, съ выведенными изъ графическаго построенія

Упругость паровъ воды по Реньо, между — 20° *и* 230°.

Температура воздушнаго термометра.	Упругость.		Разность.	Температура воздушнаго термометра.	Упругость.		Разность.
	По кривой.	По формулѣ (h).			По кривой.	По формулѣ (h).	
*—20°	0mm,91	0mm,91	0mm,00	110°	1073mm,7	1075mm,36	—1,66
—10	2,08	1,97	+0,11	120	1489	1491,28	2,28
0	4,60	4,48	+0,12	130	2029	2030,28	—1,28
10	9,16	9,05	+0,11	140	2713	2717,63	4,63
20	17,39	17,30	+0,09	150	3572	3581,23	9,23
30	31,55	31,50	+0,05	*160	4647	4651,62	4,62
*40	54,91	54,91	0,00	170	5960	5961,66	1,66
50	91,98	92,02	—0,04	180	7545	7546,39	1,39
60	148,79	148,83	—0,04	190	9428	9442,70	—14,70
70	233,09	233,11	0,02	200	11660	11689,00	29,00
80	354,64	354,64	0,00	210	14308	14324,80	—16,80
90	525,45	525,45	0,00	*220	17390	17390,36	0,36
*100	760,00	760,00	0,00	230	20915	20926,38	—11,38

277. Упругость паровъ другихъ жидкостей —Кромѣ изслѣдованій надъ водяными парами, произведено весьма мало опытовъ надъ упругостью паровъ другихъ жидкостей. Дальтонъ вывелъ законъ, который, будь онъ точенъ, далъ бы возможность вычислять упругость паровъ какой-либо жидкости изъ упругости водяныхъ паровъ. Намъ извѣстно, что подъ одинакимъ давленіемъ при точкѣ кипѣнія упругость паровъ всѣхъ жидкостей одна и та же, и равняется этому давленію; по закону Дальтона, всѣ пары имѣютъ равную упругость въ одинакомъ разстояніи отъ точки кипѣнія. Напримѣръ, упругость паровъ воды при 100° и паровъ спирта, при точкѣ его кипѣнія 79°, равняется внѣшнему даленію 760mm; при 100°—10°, упругость водяныхъ паровъ 525mm; при 79°—10, упругость спиртныхъ паровъ должна бы быть тоже 525mm. Дальтонъ самъ нашелъ, что законъ этотъ только приблизительно вѣренъ, и можетъ примѣняться только къ температурамъ, не далеко отстоящимъ отъ точекъ кипѣнія. Депре́

(Despretz) показалъ на опытѣ неточность Дальтонова закона для паровъ воды, алкооля, обыкновеннаго эѳира и терпентиннаго масла, измѣряя точки кипѣнія этихъ жидкостей подъ различными давленіями. Онъ нашелъ при этомъ, что температуры кипѣнія не равно отстояли отъ точки кипѣнія при 760^{mm} Разность для промежутка полуатмосферы составляетъ для алкооля 0°,1, для эѳира 1°; для терпентиннаго же масла она достигаетъ до 7°. Депрè нашелъ также, что двѣ жидкости тѣмъ болѣе отступаютъ отъ Дальтонова закона, чѣмъ болѣе онѣ различаются между собою химическими свойствами. Кстому же онъ замѣтилъ, что отступленія бываютъ одинаковы выше и ниже точки кипѣнія. Изслѣдованія надъ упругостью паровъ эѳира и хлороформа были бы весьма кстати теперь, когда эти жидкости начинаютъ употреблять на питаніе паровыхъ машинъ.

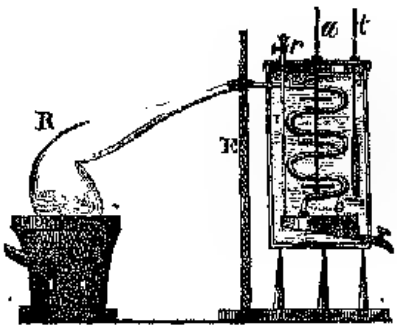
II. Измѣреніе скрытаго теплорода паровъ.

278. Измѣреніе скрытаго теплорода водяныхъ паровъ.— Блэкъ (Black), открывъ скрытый теплородъ паровъ, пытался измѣрять его. Поставивъ сосудъ съ водою на печь съ почти постоянною температурою, онъ сравнивалъ время, потребное для согрѣванія воды до 100°, съ тѣмъ, которое проходило до окончательнаго ея испаренія. Онъ также нагрѣвалъ воду въ Папиновомъ котлѣ до температуры высшей 100°, и потомъ, открывъ клапанъ, давалъ внезапно освобождаться парамъ, вслѣдствіе чего температура быстро понижалась до 100°. Испарявшаяся вода превращала въ скрытый теплородъ все количество тепла, которое теряла вода, оставшаяся въ котлѣ. Уатъ (Watt) употреблялъ тотъ же способъ; онъ пропускалъ пары изъ паровика въ сосудъ, заключавшій въ себѣ извѣстное количество воды, которая нагрѣвалась на счетъ теплорода, освобождавшагося отъ перехода паровъ въ жидкое состояніе, а также и вслѣдствіе пониженія температуры сгустившихся паровъ до температуры всей жидкости Вѣсъ сгустившихся паровъ равнялся увеличенію вѣса употребленной воды.

Румфортъ употребилъ съ того же цѣлью свой калориметръ со спиральною трубкою, впослѣдствіи принятый съ небольшими измѣненіями большинствомъ физиковъ. Фиг. 167-я изображаетъ этотъ приборъ въ томъ видѣ, въ какомъ онъ обыкновенно употребляется. Пары получаются въ ретортѣ *R*, шейка которой сообщается съ спиральною трубкою или металлическимъ *змѣевикомъ*, погруженнымъ въ воду, часть паровъ, сгущающаяся въ горлѣ реторты, стекаетъ въ нее обратно. Калориметръ, содержащій воду, утвержденъ на трехъ деревянныхъ остріяхъ и спаб-

женъ крышкою, для предотвращенія испаренія; вода смѣшивается мѣшалкою a; температура наблюдается на термометрѣ t. Вода, получаемая при сгущеніи паровъ, протекаетъ въ сосудъ c, закрытый со всѣхъ сторонъ, и тамъ принимаетъ температуру калориметра. По окончаніи опыта ее выпускаютъ посредствомъ нижняго крана, взвѣшиваютъ и получаютъ такимъ-образомъ вѣсъ паровъ, прошедшихъ чрезъ аппаратъ. Можно производить опытъ подъ различными давленіями, сгущая или разрѣжая воздухъ черезъ кранъ r. Положимъ P будетъ вѣсъ воды и всѣхъ металлическихъ массъ въ калориметрѣ, переведенныхъ въ воду; t его начальная температура, T температура паровъ, выведенная изъ давленія въ приборѣ; θ окончательная температура прибора; p вѣсъ сгущенныхъ паровъ, и наконецъ c удѣльный теплородъ жидкости, надъ которою производятъ опытъ. Для опредѣленія скрытаго теплорода паровъ l получимъ формулу:

фиг. 167.



$$pl + p(T-\theta) = Pc(\theta - t),$$

которая означаетъ, что количество теплорода pl паровъ при переходѣ въ жидкое состояніе, + количество $p(T-\theta)$ выдѣленное сгустившимися парами при охлажденіи отъ T до 0^0, равняется количеству теплорода пріобрѣтенному калориметромъ.

Для избѣжанія потери теплоты извнѣ, опытъ начинаютъ производить съ температуры, которая нѣсколькими градусами ниже окружающей температуры, и оканчиваютъ когда температура калориметра будетъ такимъ же числомъ градусовъ выше температуры окружающей среды. Но этотъ способъ производить опытъ можетъ быть строго вѣренъ только въ такомъ случаѣ, когда воздухъ находится въ совершенномъ спокойствіи.

Существуютъ еще двѣ причины погрѣшностей; первая проистекаетъ отъ того, что пары увлекаютъ съ собою мельчайшія водяныя частицы, которыя присоединяются къ вѣсу сгустившихся паровъ, вслѣдствіе чего получается цифра менѣе настоящей. Въ справедливости этого не трудно убѣдиться, употребляя соленую воду; по окончаніи опыта оказывается, что и вода собранная въ сосудѣ c, содержитъ въ себѣ немного соли. Этотъ источникъ неправильности устраняютъ до

нѣкоторой степени, избѣгая слишкомъ сильнаго кипѣнія. Второй источникъ неточности проистекаетъ отъ нѣкотораго количества тепла, сообщающагося змѣевику вслѣдствіе теплопроводности шейки реторты.

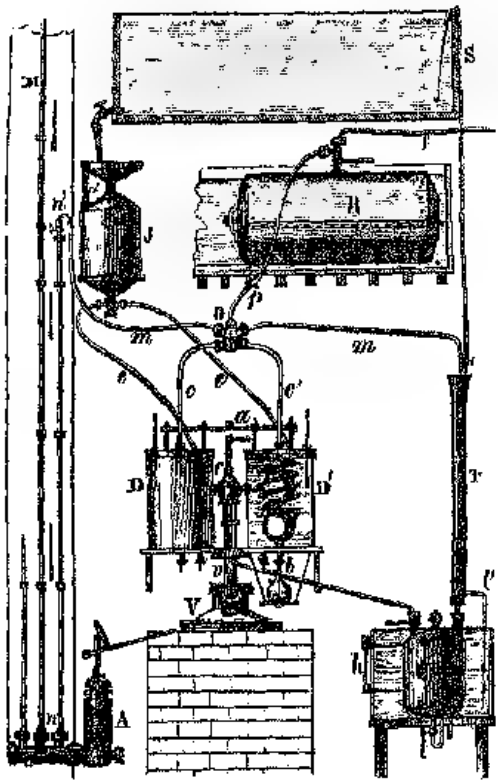
Денрѐ, производя опыты по вышеописанному способу, нашалъ, что для превращенія 1 грамма воды въ пары потребно 540 единицъ скрытаго теплорода. Брикеъ нашелъ ту же цифру, употребляя приборъ совершенно подобный описанному, съ замѣною только змѣевика кольцеобразнымъ сосудомъ. Эта цифра также очень мало разнится отъ найденной Реньо для температуры 100°, при помощи приборовъ, которые будутъ описаны ниже.

279. О скрытомъ теплородѣ паровъ воды при различныхъ давленіяхъ.—При предъидущихъ опытахъ, скрытый теплородъ измѣрялся не иначе, какъ при давленіяхъ близкихъ къ 760^{mm}. При употребленіи пара, какъ двигателя, весьма важно знать, остается ли количество скрытаго теплорода постояннымъ при всѣхъ температурахъ. Уатъ допускаетъ, что оно уменьшается по мѣрѣ возвышенія температуры, такъ что *количество теплорода, потребное для нагрѣванія и превращенія въ пары 1 грамма воды, начиная съ 0°, всегда одно и то же.* Законъ этотъ, извѣстный подъ именемъ закона Уата, былъ подтвержденъ только однимъ довольно неточнымъ опытомъ. Въ 1803 Саутернъ и Крейтонъ (Southern, Creighton) заключили, на основаніи многочисленныхъ опытовъ, что *скрытый теплородъ паровъ постояненъ при всѣхъ давленіяхъ*; это законъ Саутерна. Клеманъ и Дезормъ (Clement et Desormes) въ 1819 году нашли, что калориметръ нагрѣвался одинаково при употребленіи одинаковыхъ количествъ по вѣсу сгустившихся паровъ, несмотря на различіе давленій, что вполнѣ согласно съ закономъ Уата. Но при этихъ опытахъ пары, переходя въ калориметръ, сильно расширялись, подвергаясь обыкновенному атмосферному давленіе, вслѣдствіе чего необходимо должно было происходить значительное охлажденіе. Наконецъ Памбуръ, произведя опыты при давленіяхъ отъ 2,7 до 4,4 атмосферъ, также нашелъ вѣрнымъ законъ Уата.

280. Изслѣдованія Реньо.— Вопросъ далеко не былъ разрѣшенъ, когда Реньо принялся за него, съ новою методою и усовершенствованными аппаратами, дозволявшими ему избѣгнуть тѣхъ погрѣшностей, которыя онъ замѣтилъ въ предшествовавшихъ опытахъ. Приборъ, имъ изобрѣтенный, изображенъ на чертежѣ (фиг. 168): D, D' два одинаковыхъ калориметра изъ красной мѣди, содержащіе воду, которую

можно мѣшать при помощи двухъ мѣшалокъ, *a*, приводимыхъ въ движеніе заодно въ обоихъ калориметрахъ. Пары достигаютъ этихъ калориметровъ чрезъ трубку *в*, идущую изъ паровика и чрезъ распредѣлительный кранъ *r*. Въ каждомъ калориметрѣ находятся два шара, въ которыхъ сгущаются пары, и змѣевики идущіе отъ нижняго шара и сообщающіеся посредствомъ трубокъ *c c' p* съ погруженнымъ въ воду резервуаромъ изъ листоваго желѣза *R*, вмѣщающимъ въ себѣ 600 литръ. Нагнетательный насосъ сгущаетъ воздухъ въ резервуарѣ посредствомъ трубки *f*, и тѣмъ производитъ желаемое давленіе во всемъ приборѣ. Это давленіе измѣряется манометромъ съ свободнымъ воздушнымъ давленіемъ *Mnn'*, объ устройствѣ котораго уже было говорено въ № 277.

фиг 168.

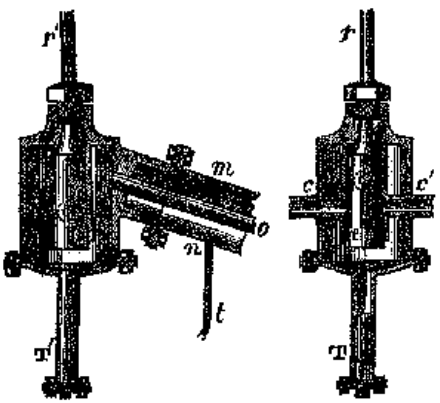


Часть паровъ, выходящихъ изъ паровика, проходитъ въ конденсаторъ *C*, гдѣ сгущается. Конденсаторъ этотъ состоитъ изъ сосуда изъ листоваго желѣза, находящагося посредствомъ трубки *m'* въ сообщеніи съ резервуаромъ сгущеннаго воздуха *R*. Вода, окружающая конденсаторъ, постоянно возобновляется, она притекаетъ изъ резервуара сифономъ *S*, потомъ, черезъ муфту *T*, окружающую трубку *m'* для сгущенія паровъ, которые не сгустились въ *C*, и чрезъ трубу *l* проводится на дно ванны, заключающей въ себѣ конденсаторъ; нагрѣтая вода стекаетъ, достигнувъ извѣстнаго уровня въ ваннѣ. Трубка *h*, показывающая уровень сгустившихся паровъ, показываетъ и весь ходъ перегонки. Чрезъ трубку *i*, снабженную краномъ *b*, выпускаютъ сгустившуюся воду *).

*) Mémoires de l'Academie de sciences à Paris, t. XXI.

Въ крышку паровика V вдѣланы желѣзныя трубки, заключающія въ себѣ термометры; вмѣстимость паровика около 300 литръ, а воды вливается въ него 150 литръ. Пары выходятъ чрезъ трубку, начинающуюся надъ поверхностью воды, образующую нѣсколько колѣнъ въ водѣ наподобіе змѣевика, и оканчивающуюся распредѣлительнымъ краномъ r. Внѣшняя часть трубки (т. е. находящаяся снаружи паровика) o (фиг 169) окружена муфтою (разрѣзъ которой видѣнъ въ mn), въ которой обращаются пары. Эти пары проходятъ чрезъ трубку t прямо въ конденсаторъ C (фиг. 168). Такимъ-образомъ пары не охлаждаются на пути и не могутъ увлекать съ собою водяныхъ капель. Фиг. 169-я представляетъ въ $r'T'$ разрѣзъ распредѣлительнаго крана, сдѣланный по вертикальной плоскости, проходящей чрезъ ось трубы o, а въ rT въ плоскости перпендикулярной къ первой. Распредѣлительный кранъ состоитъ изъ бронзоваго ящика, вылитаго изъ одного куска, съ коническимъ чехломъ, въ которомъ вращается полный кранъ, поворачиваемый при помощи стержня r, проходящаго чрезъ законопаченное отверстіе. Трубки c c' продолжаются до крана и сообщаются то съ тѣмъ, то съ другимъ калориметромъ D, D (фиг. 168). Пары попадаютъ чрезъ трубку o (фиг. 169) въ кольцеобразное пространство, окружающее кранъ, откуда чрезъ трубку T переходитъ въ конденсаторъ D (фиг. 168). Часть паровъ проходитъ въ одинъ изъ калориметровъ, когда полый кранъ находится въ такомъ положеніи, что находящееся въ немъ круглое отверстіе совпадаетъ съ отверстіемъ трубы c или c' (фиг. 169). Измѣняя положеніе этого крана и крана конденсатора C (фиг. 168), можно измѣнять количество паровъ, входящихъ въ калориметръ.

Фиг. 169.



Описанный спарядъ приводятъ въ дѣйствіе слѣдующимъ образомъ. сперва наполняютъ калориметры одинаковымъ опредѣленнымъ вѣсомъ воды, при помощи измѣрительнаго сосуда J, въ который вливаютъ извѣстный объемъ воды, останавливая уровень ея у черты на боковой трубкѣ a. Посредствомъ этого объема воды, равняющагося приблизительно 66 литрамъ, высчитываютъ вѣсъ ея, принимая во вниманіе ея расширеніе и расширеніе сосуда J, вмѣстимость котораго

при 0° извѣстна. Затѣмъ впускаютъ воду въ одинъ изъ калориметровъ чрезъ нижній кранъ сосуда *J*; внутренній каналъ этого крана образуетъ прямой уголъ.

Доведя воду въ паровикѣ до кипѣнія, и производя въ приборѣ желаемое давленіе, пропускаютъ пары въ конденсаторъ *C* (фиг. 168) и, когда перегонка идетъ правильно, часть ихъ впускаютъ въ одинъ изъ калориметровъ *D'*. Тогда, при помощи подвижныхъ зрительныхъ трубокъ, скользящихъ на неподвижныхъ подставкахъ, замѣчаютъ повышеніе термометровъ, продолжая все время мѣшать воду. Термометры эти вставлены такимъ-образомъ, что уровень ртути немного выше крышки сосуда. Когда термометръ въ *D'* перестанетъ подниматься, собираютъ воду, накопившуюся чрезъ змѣевикъ въ колбу *b*, въ которой находится маленькій чрезвычайно чувствительный термометръ, и потомъ взвѣшиваютъ ее. Чтобы вычислить скрытый теплородъ, должно знать температуру паровъ при входѣ ихъ въ приборъ, а ее можно вывести изъ давленія, показываемаго манометромъ *M*. Точно такимъ же образомъ поступаютъ съ другимъ калориметромъ и т. д., производя опытъ тò надъ тѣмъ, тò надъ другимъ, и наконецъ изъ полученныхъ результатовъ выводятъ среднюю цифру.

Поправка же относительно дѣйствія окружающей среды на калориметръ выводится изъ наблюденій, производимыхъ въ то же время надъ другимъ калориметромъ, не получающимъ паровъ, но находящимся подъ вліяніемъ тѣхъ же внѣшнихъ обстоятельствъ.

Такимъ-образомъ Реньò измѣрилъ скрытый теплородъ водяныхъ паровъ при давленіи до 14-ти атмосферъ. Разрѣжая воздухъ въ резервуарѣ *R*, вмѣсто-того чтобы сгущать его, онъ могъ производить опыты при давленіи ниже атмосферическаго, до $^1/_5$ атмосферы. Реньò не могъ идти далѣе, такъ-какъ отдѣленіе паровъ въ котлѣ происходило чрезвычайно неправильно.

Опыты при низкихъ давленіяхъ. — Для низкихъ давленій Реньò поступалъ иначе: онъ опредѣлялъ теплородъ, теряемый извѣстнымъ вѣсомъ воды, вслѣдствіе испаренія извѣстнаго вѣса той же жидкости. Приборъ употребляемый при этихъ изслѣдованіяхъ состоитъ изъ кольцеобразнаго сосуда, заключающаго 5 граммовъ дистиллированной воды и погруженнаго въ калориметръ. Этотъ сосудъ сообщается со стклянкою, окруженною охлаждающею смѣсью; изъ стклянки можно выкачивать воздухъ при помощи насоса. Установивъ желаемое давленіе, которое можно измѣрить при помощи барометрическаго манометра (194), наблюдаютъ пониженіе термометра въ калориметрѣ. Вода

перегоняется и сгущается въ охлаждаемой стклянкѣ Когда вся вода въ кольцеобразномъ сосудѣ испарилась, что не трудно замѣтить по рѣзкой остановкѣ въ пониженіи термометра, тогда, на основаніи этого пониженія температуры, вычисляютъ количество теплорода, поглощеннаго испареніемъ.

Пуль̀е также изслѣдовалъ при помощи особаго прибора скрытый теплородъ водяныхъ паровъ, при низкихъ давленіяхъ Результаты его изслѣдованій и изслѣдованій Реньо̀ довольно согласны между собою.

Заключеніе Изъ многочисленныхъ результатовъ своихъ опытовъ Реньо̀ заключилъ, что законъ Уата не точенъ, законъ же Саутерна еще менѣе; общая сумма теплорода увеличивается, а количество скрытаго теплорода уменьшается съ повышеніемъ температуры Реньо̀ заключилъ результатъ своихъ опытовъ въ слѣдующей формулѣ:

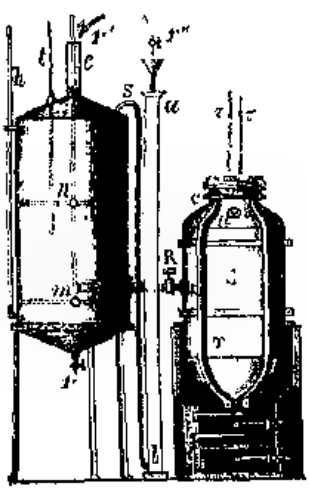
$$\lambda = 606,5 + 0,305\ t,$$

гдѣ λ означаетъ сумму скрытаго теплорода и температуры t паровъ. Такъ при 100°, имѣемъ $\lambda = 637$, и слѣдовательно скрытый теплородъ будетъ равняется 537. При 0° вся сумма теплорода равняется количеству скрытаго теплорода, т. е. $= 606,5$. Слѣдовательно сумма теплорода вообще равна количеству скрытаго теплорода при 0°, увеличенному произведеніемъ температуры кипѣнія на число 0,305. Эта цифра показываетъ количество теплорода, потребнаго для 1 грамма насыщенныхъ паровъ, чтобы возвысить его температуру на 1°, поддерживая пары въ насыщенномъ состояніи посредствомъ давленія.

Слѣдующая таблица представляетъ общія суммы теплорода водяныхъ паровъ, вычисленныя, черезъ каждые десять градусовъ, по предъидущей формулѣ:

Температура.	Давленіе, выраженное въ миллиметрахъ	Сумма тепла.	Температура.	Давленіе, выраженное въ атмосферахъ.	Сумма тепла.
0°	4,60	606,5	120°	1,962	643,1
10	9,16	609,5	130	2,671	646,1
20	17,39	612,6	140	3,576	649,2
30	31,55	615,7	150	4,712	652,2
40	54,91	618,7	160	6,120	655,3
50	91,98	621,7	170	7,644	658,3
60	148,79	624,8	180	9,929	661,4
70	233,09	627,8	190	12,425	664,1
80	354,64	630,9	200	15,380	667,5
90	525,45	633,9	210	18,848	670,5
100	760,00	637,0	220	22,882	673,6
110	1075,37	640,0	230	27,535	676,6

фиг. 176.



284. Удѣльный теплородъ воды при высокихъ температурахъ. — Чтобы изъ полученной суммы температуры вывести скрытый теплородъ водяныхъ паровъ, вычитаютъ только температуру кипѣнія, предполагая, что теплоемкость воды не измѣняется съ температурою. Такъ-какъ подобное предположеніе не согласуется съ свойствами другихъ жидкостей, то было необходимо провѣрить его на опытѣ, что и сдѣлалъ Реньо *). Аппаратъ придуманный имъ съ этою цѣлью состоитъ изъ калориметра сдѣланнаго изъ гальванизированнаго листоваго желѣза *Sr* (фиг. 170), снабженнаго мѣшалкою *nm*

*) Mémoires de l'Academie des sciences de Paris, t. XXI.

и стеклянною трубкою c, раздѣленною на градусы. Боковая трубка h показываетъ уровень, а термометръ t температуру Вода, теплоёмкость которой желаютъ опредѣлить, нагрѣвается въ паровикѣ C, снабженномъ термометрами $\tau\tau$, въ томъ же самомъ, который служилъ при опытахъ надъ расширеніемъ паровъ (277). Въ боковой стѣнкѣ просверлено отверстіе, снабженное краномъ R, въ которое вдѣлана трубка, идущая почти до самаго дна; отверстіе этой трубки находится сбоку. Въ другую сторону отъ крана Rm идетъ трубка, проникающая до самой средины калориметра, оконечность этой трубы закрыта и только на окружности ея находится множество мелкихъ отверстій. Ширма ab, въ видѣ желѣзнаго ящика, чрезъ который пропускаютъ струю воды, предохраняетъ калориметръ отъ лученспусканія печи и паровика, вода, обращающаяся въ ширмѣ, вытекаетъ чрезъ загнутую трубку S, оконечность которой изображена за калориметромъ. Вмѣстимость калориметра, до нуля трубки e, заранѣе опредѣляютъ, взвѣшивъ заключающуюся въ немъ воду при извѣстной температурѣ. Такъ же опредѣляютъ вѣсъ воды, заключающійся въ одномъ дѣленіи трубки e

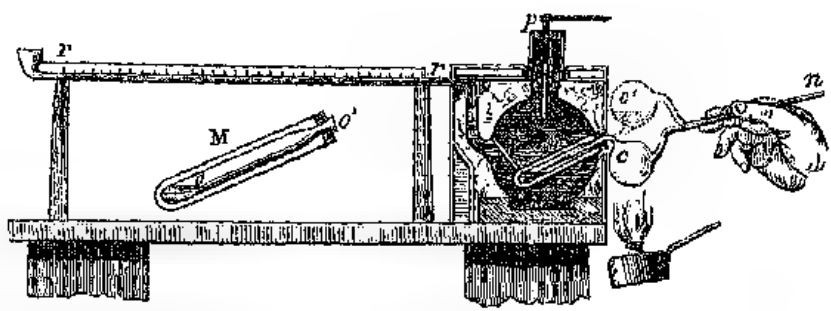
За симъ поступаютъ слѣдующимъ образомъ: во-первыхъ, при помощи резервуара сгущеннаго воздуха R (фиг. 168), производятъ въ паровикѣ C давленіе, соотвѣтствующее той температурѣ, до которой хотятъ нагрѣвать воду. Когда начинается кипѣніе, наполняютъ калориметръ до нуля трубки e (фиг. 170), выпускаютъ часть воды чрезъ кранъ r и взвѣшиваютъ ее; потомъ замѣчаютъ температуру термометра t. Затѣмъ открываютъ кранъ R, и кипящая вода переходитъ въ калориметръ. Уровень въ трубкѣ h тотчасъ начинаетъ повышаться, и, когда онъ достигаетъ трубки e, кранъ R закрываютъ отчасти, когда же уровень достигнетъ средины трубки e, кранъ этотъ совершенно закрываютъ и замѣчаютъ температуру на термометрѣ t. Вѣсъ впущеннаго количества воды выводится изъ разности вмѣстимости калориметра и того количества по вѣсу воды, которое заключалось въ немъ до открытія крана R. Кромѣ-того, производятъ всѣ поправки относительно количества теплорода теряющагося и притекающаго извнѣ, вслѣдствіе теплопроводности трубки Rm.

Этимъ способомъ Реньо доказалъ, что теплоёмкость воды весьма мало измѣняется между 0° и 200°. Между 30° и 190°, она превышаетъ только на 0,015 теплоёмкость, найденную между 0° и 30°. Итакъ этимъ увеличеніемъ можно пренебрегать въ предъидущей таблицѣ.

285. Скрытый теплородъ другихъ жидкостей.—Депрѐ опредѣлилъ вышеизложеннымъ способомъ (281) скрытый теплородъ алкооля, эѳира и терпентиннаго масла. Онъ нашелъ для нихъ цифры 331,9 174,5 и 166,2. Онъ также нашелъ, что чѣмъ плотнѣе пары жидкости, тѣмъ менѣе они требуютъ теплорода для освобожденія. Опыты, произведенные надъ сѣрнистымъ углеродомъ и парами іода, приводятъ къ тому же заключенію

Ртутные калориметры.—Фавръ и Зильберманъ при обширныхъ изслѣдованіяхъ своихъ надъ теплородомъ, освобождающемся при химическихъ дѣйствіяхъ, употребляли приборъ, который также служилъ имъ для опредѣленія удѣльнаго теплорода паровъ различныхъ жидкостей. Приборъ этотъ ни что иное, какъ ртутный термометръ, резервуаръ котораго служитъ калориметромъ; онъ изображенъ на фиг. 171-й. Резервуаръ этотъ состоитъ изъ стекляннаго шара, вмѣсти-

фиг. 171.



мость котораго около 1 литра; въ отверстіе, сдѣланное сбоку, вдѣлана толстая платиновая трубка, утвержденная въ отверстіи, при помощи такъ-называемой фонтанной мастики, распущенной съ глюмариномъ; для противодѣйствія давленіе ртути, имѣется еще стеклянная подпорка. Нижняя оконечность трубки закрыта. Съ другой стороны шара находится обращенное кверху горлышко, въ которое плотно вдѣлана трубка *rr*, раздѣленная на равныя части. Чтобы наполнить резервуаръ ртутью, его ставятъ подъ колоколъ воздушнаго насоса, черезъ верхнюю трубку котораго вливаютъ ртуть при помощи воронки съ длиннымъ горлышкомъ. Стальной поршень *p* служитъ для вдавливанія ртути до желаемой точки дѣленія трубы *rr*. Весь резервуаръ лежитъ на краяхъ круглаго отверстія, сдѣланнаго въ ку-

скѣ пробки, и вставленъ въ деревянный ящикъ, наполненный ватою или лебяжьимъ пухомъ.

Дѣленія на калориметрѣ подобнаго устройства дѣлаются не пропорціонально возвышенію температуры, а непосредственно по расширенію ртутнаго столба въ трубкѣ *rr*, происходящемъ отъ притока въ резервуаръ извѣстнаго числа единицъ теплорода. Такимъ способомъ устраняется необходимость повѣрокъ относительно массы и теплоемкости различныхъ частей прибора. Для произведенія означеннаго дѣленія, впускаютъ въ трубку *m* извѣстный вѣсъ воды при 100°, и замѣчаютъ ея окончательную температуру. Пониженіе температуры этой воды означаетъ число единицъ теплорода, уступленныхъ ртути, а пространство, пройденное вслѣдствіе расширенія ртутнаго столба въ трубкѣ *rr*, раздѣленное на это число, даетъ величину, соотвѣтствующую единицѣ теплорода, выраженную въ миллиметрахъ

Чтобы впустить воду, или вообще какую-нибудь жидкость, при извѣстной температурѣ, въ трубку *m*, употребляютъ маленькій загнутый ливеръ *c* (фиг. 171), въ которомъ кипятятъ жидкость; когда начинается кипѣніе, конецъ ливера вставляютъ въ трубку *m*, или лучше въ заключающуюся въ ней трубочку изъ тонкаго стекла, представленную особо въ *o'o*, и обращаютъ его въ положеніе *c'*, вслѣдствіе чего жидкость выливается изъ него въ *o'o*. Когда въ ливерѣ *c* остается уже не много жидкости, вынимаютъ пробку *n*, чтобы пары не проникали въ калориметръ. Вѣсъ воды, впущенный при 100°, получаютъ, взвѣсивъ трубку *o'o*.

Чтобы примѣнить этотъ приборъ къ измѣренію скрытаго теплорода какой-либо жидкости, стоитъ только пропустить ее въ трубку *oo'* въ видѣ паровъ, оставляя загнутой ливеръ въ положеніи *c*. Зная температуру сгустившихся паровъ въ концѣ опыта, зная также число единицъ теплорода, выигранныхъ калориметромъ, и удѣльный теплородъ жидкости, не трудно опредѣлить количество скрытаго теплорода.

Этотъ остроумный приборъ можетъ давать довольно точные результаты. Легко усмотрѣть, что онъ можетъ быть употребленъ для измѣренія теплоёмкости различныхъ жидкостей, знаніе которой необходимо при отъисканіи скрытаго теплорода ихъ паровъ; въ этомъ случаѣ поступаютъ точно такъ же, какъ при опредѣленіи теплоёмкости кипящей воды.

Вотъ нѣкоторые изъ результатовъ, найденныхъ Фавромъ и Зильберманомъ.

Названіе жидкости.	Точка кипѣнія.	Теплоемкость.	Скрытый теплородъ.	Названіе жидкости.	Точка кипѣнія.	Теплоемкость.	Скрытый теплородъ.
Вода.....	100°	1	535,37	Этилов. алкоголь	»	0,506	58,5
Двуглеродистый водородъ.....	200° до 210°	0,404	59,91	Обыкновенный эѳиръ.....	38°	0,503	91,1
Древесный спиртъ.	66°,5	0,671	263,8	Уксусный эѳиръ	74	0,483	105,8
Винный алкоголь.	78	0,644	208,9	Масляноокислый мѳиленъ.....	93	0,492	87,3
Амиловый алкоголь	»	0,586	221,3				

286. Примѣненіе скрытаго теплорода поданыхъ паровъ.— Одинъ граммъ воды, испаряясь, поглощаетъ 536 единицъ теплорода, и обратно, пары, сгущаясь, освобождаютъ то же самое количество теплорода. Отсюда вытекаетъ, что проведя пары, посредотвомъ трубъ, въ сосуды, въ которыхъ они сгущались бы, можно переносить на далекое разстояніе теплоту, употребленную на ихъ образованіе. На этомъ основаны всѣ способы отопленія паромъ

Приборъ, предназначаемый для отопленія зданія, состоитъ: во-1-хъ, изъ паровика, устроеннаго, какъ при паровыхъ машинахъ; во-2-хъ, изъ системы трубъ, и въ-3-хъ изъ пріемниковъ съ большими поверхностями для сгущенія паровъ и распространенія освобождаемой ими теплоты. Трубамъ сообщаютъ такое наклоненіе, чтобы сгущающаяся въ нихъ вода возвращалась обратно въ паровикъ. Особенно должно стараться, чтобы они не представляли загибовъ, подобныхъ обращенному сифону; въ противномъ случаѣ вода, скопляясь въ колѣнъ, будетъ препятствовать движенію паровъ. Въ верхнихъ частяхъ трубъ устроиваютъ краны или *суфлеры* для выпуска воздуха, вытѣсняемаго паромъ при началѣ топки. Въ Парижѣ зданія биржи и института отапливаются паромъ и могутъ служить образцомъ подобнаго отопленія.

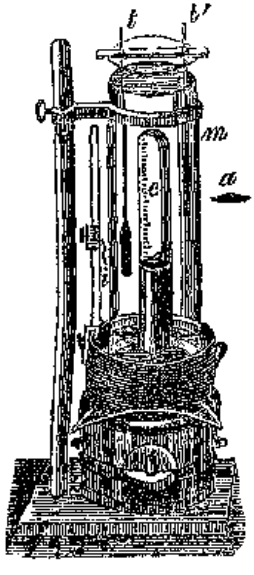
Во многихъ отрасляхъ промышленности, пары употребляются для нагрѣванія, одною топкою, большихъ массъ жидкости. Въ такомъ случаѣ пары распространяются или въ змѣевикахъ, въ срединѣ самой жидкости (и тогда сосуды, заключающіе ее, могутъ быть деревянные), или между двойными металлическими стѣнками самихъ сосудовъ

Независимо отъ огромнаго удобства, предоставляемаго равномѣрнымъ нагрѣваніемъ и чрезвычайною легкостію передачи тепла отъ одной печи къ различнымъ снарядамъ, способъ этотъ имѣетъ еще то преимущество, что при немъ можно быть увѣреннымъ, что температура нагрѣваемой жидкости будетъ не выше температуры, сообщенной парамъ.

II. Измѣреніе плотности паровъ.

287. Способъ Гэ-Люссака. — Мы уже видѣли какъ важно бываетъ иногда въ химіи знать плотность тѣлъ въ газообразномъ состояніи. Когда тѣла не представляются въ этомъ состояніи при обыкновенной температурѣ, должно прибѣгать къ особеннымъ способамъ при опредѣленіи плотности ихъ паровъ. Гэ-Люссакъ разрѣшилъ эту задачу наоборотъ: вмѣсто того, чтобы опредѣлить вѣсъ извѣстнаго объема паровъ, онъ отъискалъ объемъ занимаемый даннымъ вѣсомъ паровъ. Онъ употреблялъ приборъ (фиг. 172), состоящій изъ широкой стеклянной трубы *c*, наполненной сухою ртутью и опрокинутаго надъ котломъ, заключающимъ ту же жидкость. На трубкѣ находятся дѣленія, обозначающія опредѣленные объемы. Подъ нее вводятъ пузырекъ съ изслѣдываемою жидкостью, предварительно взвѣсивъ ее и прокипятивъ для удаленія воздуха. Пузырекъ тотчасъ же подымается въ верхнюю часть трубки. Эту послѣднюю окружаютъ стеклянною муфтою *m*, и промежутокъ наполняютъ водою или масломъ. Потомъ нагрѣваютъ котелъ, теплота распространяется во всѣ части прибора, пузырекъ разрывается вслѣдствіе расширенія вмѣщающейся въ немъ жидкости, и образуются пары, которые своею упругостью понижаютъ ртутный столбъ. Дожидаютъ, пока вся жидкость не превратится въ пары, что обнаруживается или сухостью поверхности ртути, или тѣмъ, что упругость не достигаетъ высшаго предѣла, соотвѣтствующаго температурѣ

фиг. 172.



паровъ. Давленіе измѣряютъ, вычитая изъ высоты барометра столбъ ртути въ трубкѣ приведенный къ нулю Столбъ этотъ измѣряютъ при помощи острія i, приводя его послѣдовательно въ уровень съ ртутью въ трубкѣ и въ котлѣ. Еще лучше употреблять для этой цѣли катѣтометръ и остріе, приводимое въ соприкосновеніе съ поверхностью ртути въ котлѣ. Для опредѣленія температуры находятся въ муфтѣ на различныхъ высотахъ термометры t, t'; для уравненія температуры, жидкость въ муфтѣ безпрерывно взбалтывается. Когда температура установится, наблюдаютъ, по дѣленіямъ трубки, объемъ занимаемый парами. Пусть v будетъ объемъ, означенный числомъ дѣленій, то объемъ дѣйствительно занимаемый будетъ $v\ (1 + KT)$, гдѣ T температура, а K коэффиціентъ расширенія стекла. Этотъ объемъ равняется извѣстному вѣсу паровъ при температурѣ t и при давленіи h; раздѣляя его на вѣсъ $p' = v\ (1 + KT)\ 1{,}^{gr}3\ \frac{267}{267 + t}\ \frac{h}{760}$ одинаковаго объема воздуха, находящагося подъ тѣмъ же давленіемъ и при той же температурѣ, получимъ плотность паровъ относительно воздуха.

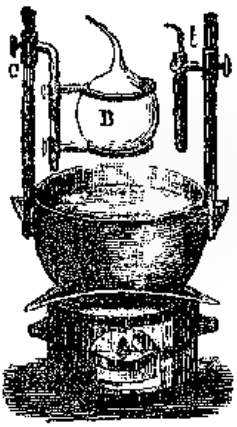
Дешрѐ также опредѣлялъ плотность паровъ различныхъ жидкостей при помощи барометрической трубки съ краномъ на верхней оконечности, къ которому придѣлывался пустой шаръ *). Жидкость, впущенная въ приборъ, образовала пары, давленіе которыхъ измѣряли. Сравнивая его съ давленіемъ въ подобномъ же барометрѣ, содержащемъ избытокъ жидкости, находили, вся ли жидкость въ барометрѣ съ шаромъ превратилась въ пары. Затѣмъ взвѣшивали шаръ съ жидкостью и сравнивали вѣсъ съ вѣсомъ пустаго шара, объемъ котораго былъ опредѣленъ заранѣе. Такимъ образомъ можно найти вѣсъ извѣстнаго объема паровъ, при данномъ давленіи и температурѣ.

288. Способъ Дюма. — Способъ Гэ-Люссака нельзя употреблять, когда температура, при которой тѣло переходитъ въ пары, слишкомъ высока, потому-что тогда масло, находящееся въ муфтѣ, начинаетъ разлагаться и теряетъ прозрачность. Дюма́ придумалъ способъ, дозволяющій производить опыты при болѣе высокихъ температурахъ; способъ этотъ состоитъ въ слѣдующемъ: наполняютъ паромъ шаръ, объемъ котораго извѣстенъ, и вѣсъ его дѣлятъ на вѣсъ такого же объема воздуха, находящагося при тѣхъ же условіяхъ. Шаръ B (фиг. 173), представляетъ заостренное горлышко, вы-

*) Annales de chimie et de physique, 2-e série, t. XXI.

тянутое на лампѣ. Вымывъ и просушивъ шаръ, въ него вводятъ нѣкоторое количество того вещества, упругость паровъ котораго хотятъ опредѣлить. Затѣмъ погружаютъ шаръ въ ванну, назначенную для нагрѣванія. Всего удобнѣе поддерживать его въ ваннѣ, посредствомъ двухъ колецъ, соединенныхъ вертикальною перекладиною, которая можетъ двигаться вверхъ и внизъ по столбику, придѣланному къ котлу, служащему ванной. Ванну эту наполняютъ водою, солянымъ растворомъ, масломъ или сплавомъ, болѣе или менѣе плавкимъ, сообразно той температурѣ, до которой хотятъ довести шаръ. Термометръ по вѣсу t, или воздушный термометръ, показываетъ температуру ванны. Изъ вещества вскорѣ начинаютъ освобождаться пары и выходятъ чрезъ узкій кончикъ, въ видѣ маленькаго облака, за которымъ постоянно слѣдятъ. Весь воздухъ увлекается изъ сосуда, и вскорѣ прекращается выдѣленіе паровъ; это означаетъ, что уже болѣе не остается испаряющагося вещества, и что шаръ наполненъ парами, находящимися подъ атмосферическимъ давленіемъ P и при температурѣ ванны T. При этомъ ожидаютъ, чтобы температура установилась; для этой цѣли, или закрываютъ всѣ отверстія печи, или выгребаютъ топливо, когда температура еще немного ниже желаемой; наконецъ температура дѣлается почти постоянною; въ этотъ моментъ запаиваютъ конецъ горлышка. Когда шаръ остынетъ, его тщательно взвѣшиваютъ, и изъ результата выводятъ вѣсъ паровъ, наполнявшихъ его подъ давленіемъ P и при температурѣ T. Объемъ этого вѣса паровъ, при этой температурѣ, равняется $V(1 + KT)$, означая чрезъ V объемъ шара при 0°, и чрезъ K коэффиціентъ расширенія стекла. Впрочемъ вычисленіе производится такъ же, какъ при измѣреніи плотности газовъ въ сосудѣ, не снабженномъ краномъ.

фиг. 173.



Такъ-какъ въ шарѣ могло остаться немного воздуха, то не мѣшаетъ по окончаніи опыта отломить его шейку подъ ртутью. Ртуть входитъ въ шаръ и тогда легко замѣтить присутствіе воздуха. Въ такомъ случаѣ его, подъ ртутью же, переливаютъ въ пробирной стаканчикъ и опредѣляютъ его объемъ, замѣтивъ при этомъ давленіе и температуру; потомъ на основаніи этихъ данныхъ вычисляютъ вѣсъ этого воздуха, который и слѣдуетъ вычесть изъ вѣса паровъ.

При температурѣ высшей 400°, этотъ способъ представляетъ огромныя неудобства. Мичерлихъ поступаетъ въ этомъ случаѣ слѣдующимъ образомъ: пары заключаютъ въ толстую, стеклянную трубку, съ вытянутымъ острымъ кончикомъ, а рядомъ съ нею помѣщаютъ точно такую же трубку съ воздухомъ, которая служитъ пирометромъ. Обѣ трубки заключаются въ двойномъ чахлѣ изъ листоваго желѣза, который въ свою очередь входитъ въ чугунную муфту, помѣщенную горизонтально въ печи. Муфта эта утверждается на осяхъ, вдѣланныхъ въ основанія ея, такъ-что аппаратъ можетъ вращаться на оси, вслѣдствіе чего всѣ части его нагрѣваются равномѣрно. Когда пары перестанутъ выходить изъ трубки, оба кончика запаиваютъ и оканчиваютъ опытъ, какъ въ предъидущихъ случаяхъ. Воздушная труба служитъ къ измѣренію температуры въ моментъ закрытія трубокъ.

289. Теоретическая плотность. — Плотность паровъ сложныхъ тѣлъ можетъ быть высчитана при помощи закона Гэ-Люссака о составѣ газовъ (192): такъ 2 объема водорода, вѣсящаго 0,1382, и 1 объемъ кислорода, вѣсящаго 0,0155, даютъ два объема паровъ воды. Взявъ полусумму этихъ вѣсовъ, найдемъ 0,6218 для теоретической плотности паровъ воды, число весьма мало разнящееся отъ числа 0,6235, найденнаго непосредственнымъ опытомъ Гэ-Люссака.

Слѣдующая таблица заключаетъ въ себѣ нѣкоторые результаты, найденные Гэ-Люссакомъ и Дюма.

Названіе вещества.	Плотность паровъ.	Точка кипѣнія.	Названіе вещества.	Плотность паровъ.	Точка кипѣнія
		По Гэ-Люссаку.			
Вода	0,6235	100	Сѣрный эѳиръ	2,5860	36
Синероднстоводородная кислота	0,9476	26,50	Сѣрнистый углеродъ	2,6447	47
Алкоголь	1,6138	11	Терпентинное масло	5,0130	157
Хлористоводородный эѳиръ	2,219	36	Іодистоводородн. эѳиръ	5,4749	65

Название вещества.	Плотность паровъ.	Вѣсъ литра, въ грамм.	Название вещества.	Плотность паровъ.	Вѣсъ литра въ грамм.
		По Дюма.			
Пары іода.....	8,716	11,323	Хлористый силицій...	5,939	7,7154
» сѣры.....	6,55	8,489	Кремнефтористая кисл.	3,600	»
» ртути.....	6,976	9,0625	Хлористый боръ.....	2,942	5,1212
» фосфора.....	4,32	»	Фтористоборная кисл.	2,3124	»
Трех-хлористый фосфоръ.....	4,875	6,3532	Двухлористое олово..	9,1997	11,9514
Мышьяковистый водородъ.....	2,695	3,5023	Трех-хлористый титанъ	6,836	8,881
Трех-хлорист. мышьякъ.....	6,3006	8,1852			

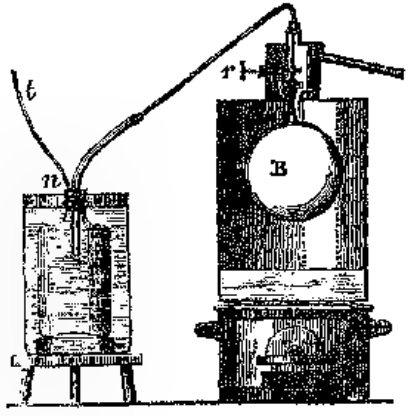
290. Плотность однихъ и тѣхъ же паровъ при различныхъ обстоятельствахъ.—По способу Гэ-Люссака опредѣляется плотность паровъ, недостигшихъ высшаго предѣла упругости; по способу же Дюма она опредѣляется въ состояніи насыщенія. Если отъ найденныхъ такимъ-образомъ чиселъ, или отъ теоретической плотности, хотятъ перейти къ опредѣленію плотности при температурѣ и давленіи несоотвѣтствующихъ найденнымъ цифрамъ, то обыкновенно поступаютъ, какъ и съ собственно газами, *т. е.* пользуются закономъ Маріота и закономъ расширенія газовъ, и тогда плотность паровъ въ отношеніи къ воздуху принимается постоянною, какова бы ни была температура, лишь бы не было насыщенія. Мы уже видѣли (381), что эти законы не совершенно строго точны, и что погрѣшность особенно велика для газовъ находящихся близъ точки перехода въ жидкое состояніе. Вѣроятно, что то же самое имѣетъ мѣсто и относительно паровъ, которые обыкновенно недалеки отъ высшаго предѣла упругости. Кагуръ (Cahours) дѣйствительно нашелъ, что плотность паровъ многихъ органическихъ веществъ значительно уменьшается, по мѣрѣ удаленія отъ точки кипѣнія; что происходитъ отъ дѣйствія сцѣпленія, которое тѣмъ замѣтнѣе, чѣмъ ближе точка насыщенія.

Очевидно, что при высшемъ предѣлѣ упругости, съ повышеніемъ

температуры, вмѣстѣ съ массою паровъ, заключенныхъ въ данномъ пространствѣ, увеличивается и плотность ихъ относительно вѣса воды Но плотность ихъ относительно воздуха, находящагося при тѣхъ же условіяхъ, увеличивается или или уменьшается? Этотъ вопросъ можетъ разрѣшить только опытъ; потому-что если вѣсъ воздуха уменьшается съ температурою, то онъ увеличивается съ давленіемъ, которое всегда должно быть взято равное давленію паровъ при насыщеніи. Изъ опытовъ Шмеддинка явствуетъ, что въ насыщенномъ воздухѣ упругость водяныхъ паровъ, относительно воздуха взятаго при тѣхъ же обстоятельствахъ, значительно увеличивается съ повышеніемъ температуры. При 13° эта плотность равняется 0,616, а при 44° она — 0,652.

Реньо, занимаясь изслѣдованіями надъ гигрометріей, произвелъ по тому предмету много опытовъ *). Онъ во-первыхъ опредѣлилъ плотность водяныхъ паровъ при 100° и подъ самыми слабыми давленіями. При этихъ изслѣдованіяхъ онъ употребилъ приборъ фиг. 174: *B* есть шаръ, вмѣстимость котораго до 10 литровъ, съ латунною оправою *a*, снабженною краномъ *r*. Вливъ туда немного воды, выкачиваютъ воздухъ, образуются пары которые по мѣрѣ выдѣленія поглощаются въ трубкѣ наполненной пемзою, смоченною сѣрною кислотою, и вскорѣ весь воздухъ вытѣсняется изъ шара. Тогда закрываютъ кранъ *r*. Затѣмъ шаръ помѣщаютъ въ паровую печь и приводятъ его въ сообщеніе съ пріемникомъ *n*, окруженнымъ водою при температурѣ окружающей среды и находящимся посредствомъ трубки *t* въ сообщеніи съ барометрическимъ манометромъ (194). Разрѣжаютъ воздухъ въ пріемникѣ, и, когда вода въ печи начинаетъ кипѣть, открываютъ кранъ *r*. Вода перегоняется изъ шара *B* и сгущается въ пріемникѣ; по прошествіи одного часа, замѣчаютъ давленіе на манометрѣ и запираютъ кранъ *r*. Затѣмъ прерываютъ сообщеніе между пріемникомъ и шаромъ, высушиваютъ послѣдній и взвѣшиваютъ его наблюдая всѣ предосторожности, необходимыя при измѣреніи плотности газовъ (194). Потомъ повторяютъ опытъ, разрѣдивъ еще болѣе воздухъ

фиг. 174



*) Annales de chimie et de physique, 3-e série, t. XV.

въ пріемникѣ. Разность P вѣса шара въ обоихъ случаяхъ дастъ вѣсъ пара, наполняющаго его подъ давленіемъ, равняющимся разности h наблюдаемыхъ давленій, и при температурѣ T, соотвѣтствующей кипѣнію въ печи. Означая чрезъ p вѣсъ сухаго воздуха, наполняющаго шаръ при 0° и подъ давленіемъ равняющимся 760^{mm}, чрезъ a коэффиціентъ расширенія воздуха, чрезъ K коэффиціентъ расширенія стекла, получимъ плотность паровъ:

$$d = \frac{P}{p} \cdot \frac{1 + aT}{1 + KT} \cdot \frac{760}{h}.$$

Этотъ способъ приводитъ къ выводамъ найденнымъ Гэ-Люссакомъ, покуда давленіе паровъ многимъ разнится отъ 760^{mm}, но при давленіяхъ близкихъ къ сему предѣлу, получаются значительно бо́льшія числа. Это различіе можетъ отчасти проистекать отъ того, что поверхность стекла удерживаетъ сгустившіеся пары, и въ тѣмъ бо́льшемъ количествѣ, чѣмъ ближе степень насыщенія.

Реньо́ производилъ такія изслѣдованія еще болѣе точнымъ способомъ, посредствомъ прибора, представленнаго на фигурѣ 164-й Вмѣстимость шара тщательно измѣряютъ, и воду, заключающуюся въ пузыркѣ, взвѣшиваютъ до начатія опыта. Сначала поступаютъ такъ же, какъ при измѣреніи упругости паровъ по способу, указанному выше (276). Покуда температура еще ниже соотвѣтствующей для насыщенія пространства вѣсомъ p воды, заключающейся въ пузыркѣ, упругость паровъ равняется наибо́льшему давленію ихъ при данной температурѣ; но если усилить нагрѣваніе, то пары оказываютъ свойство газовъ; называя черезъ f ихъ упругость, мы получимъ для ихъ плотности формулу $d = \frac{P}{\pi} \cdot \frac{1 + aT}{1 + KT} \frac{760}{f}$, гдѣ π означаетъ вѣсъ воздуха при 0° и при 760^{mm}, еслибы имъ было наполнено все пространство въ шарѣ и въ манометрической трубкѣ t (фиг. 164).

Реньо́ такимъ-образомъ нашелъ, что плотность водяныхъ паровъ, въ пустомъ пространствѣ или при слабыхъ давленіяхъ, можетъ вычисляться по закону Маріота, если только отношеніе между ихъ упругостью и упругостью, которая бы имѣла мѣсто при той же температурѣ, но въ насыщенномъ пространствѣ, не превышаетъ 0,8. Но чѣмъ ближе точка насыщенія, тѣмъ плотность становится болѣе выведенной изъ вычисленія; что́ можетъ происходить, какъ мы уже сказали, вслѣдствіе сгущенія паровъ на стѣнкахъ шара. Чтобы убѣдиться въ этомъ, Реньо́ предлагалъ дѣлать опыты въ шарахъ, внутрен-

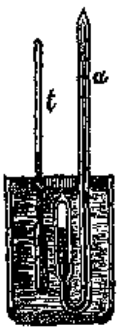
няя поверхность которыхъ была бы накрыта различными лаками или въ стеклянныхъ сосудахъ чрезвычайно разнообразныхъ формъ и, слѣдовательно, представляющихъ значительное различіе въ отношеніяхъ между своею ёмкостью и внутреннею поверхностью.

Реньо также занимался плотностью паровъ при различныхъ температурахъ, въ насыщенномъ воздухѣ.

291. Отношеніе между объемами одинаковаго вѣса жидкости и паровъ.—Зная плотность паровъ, не трудно опредѣлить, какой объемъ паровъ дастъ извѣстный объемъ жидкости. Разсмотримъ напримѣръ пары воды: плотность ихъ, въ отношеніи къ воздуху при тѣхъ же условіяхъ, равняется $^5/_8$; умноживъ ее на плотность воздуха при $100^0 = 0{,}0013 \frac{267}{267+t}$, найдемъ приблизительно $\frac{1}{1695}$ для плотности водяныхъ паровъ при 100^0, въ отношеніи къ водѣ при 4^0. Такъ-какъ объемы обратно пропорціональны плотностямъ, то объемъ паровъ при 100^0, образовавшихся изъ литра воды при 4^0, будетъ 1695 литровъ, или приблизительно 1700 литровъ. Итакъ при переходѣ тѣла изъ жидкаго состоянія въ газообразное, происходитъ огромное увеличеніе объема, если только давленіе не очень значительно.

Если давленіе очень велико, то можно получить при весьма высокой температурѣ пары, которыхъ плотность немного ниже плотности жидкости и объемъ которыхъ, слѣдовательно, немногимъ превосходитъ объемъ жидкости. Каньяръ Латуръ (Cagnard Latour) произвелъ по этому предмету весьма интересные опыты: онъ вводилъ въ изогнутую трубку *ar* (фиг. 175), извѣстное количество ртути и дополнялъ резервуаръ *r* эѳиромъ. Нѣкоторое количество воздуха, находившееся при *a*, служило къ измѣренію давленія. Концы трубки запаивались надъ лампою и приборъ погружался въ сильно нагрѣтый сплавъ; жидкость превращалась въ пары, которые занимали объемъ не болѣе двойнаго объема прежде занятаго жидкостью. Съ алкоолемъ получали тѣ же результаты, но при опытахъ надъ водою приборъ всегда разрывался прежде окончательнаго превращенія ея въ пары.

Фиг. 175.



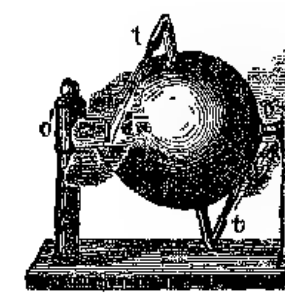
§ 4. Паровыя машины.

I. Неподвижныя паровыя машины.

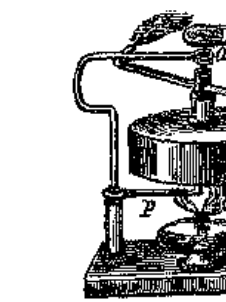
292. Къ числу блистательнѣйшихъ изобрѣтеній ума человѣческаго, имѣвшихъ наибольшее вліяніе на развитіе промышленности и просвѣщенія, безъ сомнѣнія принадлежатъ паровыя машины. Поэтому многіе старались отъискать въ самой отдаленной древности первоначальную идею паровой машины, и опредѣлить степень, до которой была извѣстна людямъ того времени сила давленія паровъ, и возможность примѣненія ея къ механическому дѣйствію. Впослѣдствіи дѣятельно старались узнать имена изобрѣтателей употребительнѣйшихъ системъ паровыхъ машинъ и тѣхъ, которые сдѣлали важнѣйшія усовершенствованія въ оныхъ. Долгое время Англичане приписывали своимъ соотечественникамъ честь изобрѣтенія, какъ самаго принципа, такъ и главнѣйшихъ частей этой удивительной машины. Но капитанъ фрегата Монжерй издалъ въ 1822 и 1823 г. г. свои изслѣдованія объ этомъ предметѣ и опровергъ ихъ мнѣніе. Послѣ того Робертъ Стюартъ, отложивъ неумѣстную національную гордость, отдалъ полную справедливость настоящимъ изобрѣтателямъ паровой машины. Наконецъ, Араго, въ извѣстномъ отчетѣ, напечатанномъ въ Annuaire du bureau des longitudes, рѣшительно утвердилъ за Папиномъ изобрѣтеніе принципа паровой машины въ такомъ видѣ, въ какомъ она теперь употребляется.

Происхожденіе паровой машины. Нѣкоторые писатели, приписываютъ глубокой древности происхожденіе паровой машины. Геронъ Александрійскій дѣйствительно описываетъ, въ своихъ Spiritualia, вертящійся Эоловъ мячь, представленный на фиг. 176-й: пустой шаръ вращается вокругъ своей оси *oo'*, паръ къ него проходитъ черезъ

фиг. 176.



фиг. 177.



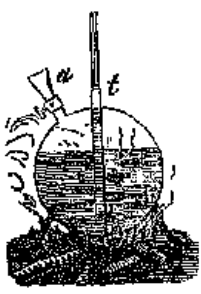
подставку *c* и ось *o*. На этомъ шарѣ двѣ колѣнчатыя трубки *t*, *t* перпендикулярныя къ *o*, *o*'; когда паръ стремительно выходитъ изъ трубочекъ, то шаръ получаетъ вращательное движеніе. Но это лишь довольно любопытный опытъ, которому Геронъ и не думалъ приписывать особой важности, какъ могущему имѣть какое-либо примѣненіе. Впослѣдствіи опытъ этотъ былъ часто повторяемъ съ различно-устроенными аппаратами. Фиг. 177-я представляетъ еще лучшее устройство:

Цилиндрическій сосудъ, наполненный кипящей водой, вертится на вертикальной оси, а паръ выходитъ черезъ двѣ горизонтально расположенныя, колѣнчатыя трубочки. Сосудъ поддержанъ снизу вертикальнымъ остріемъ, укрѣпленнымъ на оконечности подставки *p*, а въ *a* удержанъ кольцомъ, въ которомъ вертится шпенёкъ, прикрѣпленный къ крышкѣ сосуда.

Каковъ бы ни былъ опытъ Герона, однакожь положительно извѣстно, что древніе имѣли довольно вѣрное понятіе о силѣ упругости пара, потому-что Сенека объясняетъ землетрясенія расширеніемъ паровъ, производимыхъ подземнымъ огнемъ. Въ VI вѣкѣ Агафій разсказываетъ, что Анѳемій, въ отмщеніе сосѣду своему Зенону, разрушилъ потолокъ его комнаты посредствомъ пара, подведеннаго подъ стропила изъ большихъ котловъ. Эти первоначальныя понятія, которыя нельзя назвать даже началомъ примѣненія пара, какъ двигателя машинъ, оставались безъ большихъ измѣненій до XVII столѣтія. Въ 1605 году, Флорансъ Рибо, наставникъ Людовика XIII, говоритъ въ своихъ *Eléments d'artillerie*, что Эоловъ шаръ разорвало бы, еслибъ вода, обращенная въ воздухъ посредствомъ нагрѣванія, не имѣла свободнаго выхода

Соломонъ де-Каусъ (Caus), около 1615 года, въ сочиненіи не заслуживающемъ впрочемъ особаго вниманія «*Des raisons des forces mouvantes*», приводитъ слѣдующій опытъ: берутъ мѣдный шаръ (фиг. 178), въ который вставлена трубочка *t* почти до дна. Наливаютъ воду въ шаръ чрезъ отверстіе *a*, закрываютъ кранъ и ставятъ на огонь, чрезъ нѣсколько минутъ вода, сдавленная парами, начинаетъ бить изъ трубы *t*. Далеко еще однако отъ этого простаго физическаго опыта до идеи примѣненія паровъ къ насосамъ и механическимъ дѣйствіямъ, и Соломонъ де-Каусъ, судя по его сочиненіямъ, вовсе не имѣлъ этой

фиг. 178.



идеи. Впрочемъ, аппаратъ этотъ былъ уже не новость: Ж. Б. Порта описываетъ устройство, имѣющее тотъ же результатъ, только пары образуются въ отдѣльномъ сосудѣ Слѣдовательно, несправедливо приписываютъ Соломону де-Каусу, первому, идею употребленія паровъ для поднятія воды; онъ имѣлъ въ виду только любопытный опытъ, котораго даже и не выдаетъ за свой.

Впослѣдствіи употребляли столбъ пара, выходящій изъ Эолова колеса, для приведенія въ движеніе маленькихъ колесъ съ лопаточками. Брапка упоминаетъ о такого рода аппаратѣ, и прибавляетъ, что можно этимъ способомъ привести въ движеніе песты для растиранія пороха. Тутъ мы находимъ уже идею—употребить паръ, какъ механической двигитель; но способъ употребленія обѣщаетъ еще весьма незначительные результаты

Въ 1663 году, маркизъ Уорчестеръ (Worcester) описываетъ аппаратъ, сходный съ аппаратами Соломона де-Кауса и Порта, посредствомъ котораго можно было подымать воду на извѣстную высоту. Повидимому, онъ никогда не осуществилъ своей идеи на дѣлѣ, и не устроивалъ подобнаго аппарата; потому-что впослѣдствіи многіе пробовали, по его смутнымъ описаніямъ, составить рисунки, но получали всегда другіе результаты. Впрочемъ, въ этомъ описаніи, идея употребленія паровъ, какъ двигателя механическаго, уже не новая, и маркизу Уорчестеру столько же несправедливо приписать изобрѣтеніе новаго двигателя-пара, какъ П. Лапа (P. Lapa) считать изобрѣтателемъ аэростатовъ, потому-что онъ указалъ на возможность подыматься на воздухъ посредствомъ сосудовъ, наполненныхъ разрѣженнымъ воздухомъ, не указавъ, однако, на способъ приведенія въ исполненіе этого предположенія.

Мы видимъ изъ всего предъидущаго, что въ XVII-мъ вѣкѣ принципъ паровой машины оставался еще въ неизвѣстности. Никто не воображалъ, что могучую силу пара можно употребить съ такою пользою, когда Денисъ Папинъ (Denis Papin), уроженецъ Блуа, публиковалъ въ 1690 году описаніе фундаментальнаго опыта, которое, въ популярномъ видѣ, заключало въ себѣ принципъ паровой машины высокаго давленія, какая и до-сихъ-поръ употребляется.

293. Опытъ Паппа.—Изобрѣтеніе барометра—Торичелли и необыкновенныя явленія атмосфернаго давленія, которое Отто Герике доказалъ посредствомъ своихъ пневматическихъ машинъ, сильно занимали всѣхъ въ это время; могущество воздушнаго давленія въ-особенности поражало умы; вездѣ старались извлечь изъ него

пользу, примѣнить его къ дѣлу. Денисъ Папинъ, поддавшись всеобщему влеченію, съ своей стороны тоже старался осуществить эту мысль.

Отто фонъ-Герике, при изобрѣтеніи воздушнаго насоса, доказалъ на опытѣ любопытный фактъ, что поршень двигается въ цилиндрѣ посредствомъ образующагося въ немъ безвоздушнаго пространства. Принявшись вторично за этотъ опытъ, Папинъ старался произвести пустоту простѣйшими средствами; онъ сначала придумалъ привести въ дѣйствіе пневматическія машины посредствомъ воды или вѣтра, соединить ихъ длинными трубами съ насосомъ, и такимъ-образомъ произвести пустоту подъ его поршнемъ. Онъ называлъ это «передавать силу рѣкъ на дальнія разстоянія». Въ этомъ собственно заключается принципъ атмосферныхъ желѣзныхъ дорогъ. Спустя нѣсколько времени, онъ пробовалъ жечь порохъ подъ поршнемъ и тѣмъ выдавливать его вверхъ, разсчитывая, что когда газы сгустятся и охладѣютъ, то атмосферное давленіе приведетъ поршень въ прежнее положеніе; но газовъ накоплялось такое количество, что сила движенія поршня вслѣдствіе атмосфернаго давленія, была всегда весьма незначительна. Вслѣдствіе этого у него родилась мысль, наполнить цилиндръ насоса парами, которые онъ затѣмъ сгущалъ охлажденіемъ. Цилиндръ этотъ снизу не имѣлъ отверстія; при опусканіи поршня P (фиг. 179), сдавленный воздухъ выходилъ чрезъ маленькое отверстіе, которое потомъ затыкалось посредствомъ стержня o, въ нижнюю часть цилиндра наливалось извѣстное количество воды. Разведенный огонь подъ цилиндромъ приводилъ воду въ кипѣніе, и отдѣлявшіеся пары выдавливали поршень до верхняго края цилиндра; здѣсь его удерживала защелка съ пружиной r, которая захватывала зарубку на стержнѣ t. По удаленіи огня, пары сгущались, и, при отодвиганіи защелки поршень опускался вслѣдствіе давленія на него атмосферы. Приближая или удаляя такимъ образомъ огонь и попеременно открывая и запирая защелку, причемъ пары то расширялись, то сгущались, Папинъ заставлялъ поршень подыматься и опускаться по желанію.

фиг. 179.

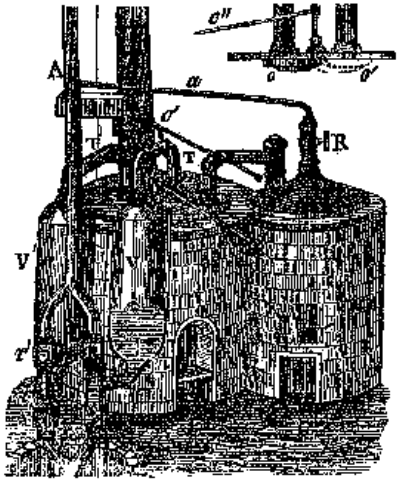
Папинъ не ограничивается однимъ только описаніемъ своего опыта,—онъ входитъ въ подробности о примѣненіи движенія поршня взадъ и впередъ. Онъ предлагаетъ употребленіе этого способа для приве-

денія въ дѣйствіе насосовъ при выкачиваніи воды изъ рудниковъ или сообщенія движенія вращательнымъ весламъ, придѣланнымъ къ лодкѣ.

Долгое время предполагали, что Папинъ производилъ всѣ свои опыты только въ весьма малыхъ размѣрахъ; но недавно была найдена Кульманомъ, профессоромъ ганноверскаго университета, переписка этого ученаго съ Лейбницемъ, изъ которой видно, что подъ руководствомъ Папина была устроена машина съ поршнями, дѣйствовавшая посредствомъ паровъ, такихъ размѣровъ, что приводила въ движеніе лодку, къ которой были придѣланы колеса съ перьями (*). Какъ видно, эти опыты (мы о нихъ поговоримъ еще впослѣдствіи) надѣлали въ то время много шума, потому-что графъ Синтцендорфъ, владѣтель нѣсколькихъ наводненныхъ рудниковъ въ Богеміи, приглашалъ Папина съ тѣмъ, чтобъ онъ высушилъ ихъ помощью устроенной имъ машины. Права Папина на изобрѣтеніе паровой машины, основанной на движеніи поршня въ цилиндрѣ, слѣдовательно, не подлежатъ сомнѣнію и не могутъ быть оспариваемы, какъ со стороны теоріи, такъ и со стороны практическаго ихъ примѣненія

294. Машина Саверн (Savery). Опыты Папина и практическія примѣненія оныхъ, казалось, были уже забыты, когда капитанъ Савери, въ 1698 году, устроилъ машину для подъема воды, благодаря чему имя его перешло въ потомство, и примѣнилъ къ ней способъ охлажденія паровъ для производства пустаго пространства. На фигурѣ 180-й представленъ этотъ снарядъ: два паровика, вдѣланные въ печь и имѣющіе сообщеніе въ верхней части, служатъ для развода паровъ, которые проходятъ чрезъ трубы T T' въ резервуары V, V', нижняя часть которыхъ находится въ связи съ двумя трубами r' s', и r s, снабженными клапанами. Эти трубки верхнею своею частью находят-

фиг. 180.



* Эту интересную переписку можно найти въ любопытномъ сочиненіи подъ заглавіемъ: «Описаніе главнѣйшихъ современныхъ научныхъ открытій», Фитье. Ч. III.

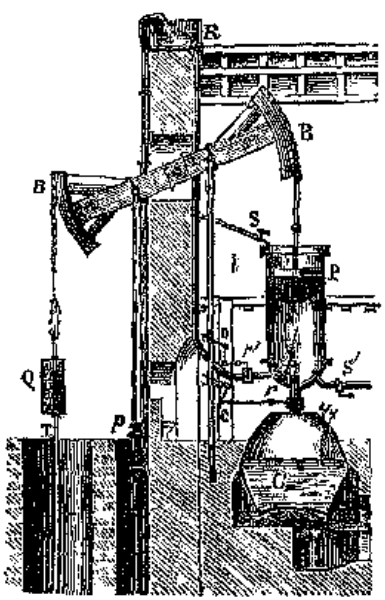
ся въ сообщеніи съ подъемной трубой A, а нижнею съ трубой погруженною въ воду, которую желаютъ поднять. Рычагъ c служитъ для того, чтобъ открывать и закрывать, по желанію, трубы T T', съ помощью заслонки o, которая представлена отдѣльно (фиг. c'' oo'), и которую можно произвольно передвигать отъ отверстія o одной трубки, до o' другой, помощью рычага c'' Положимъ, что трубка T открыта, а трубка T' закрыта, тогда паръ стремится въ резервуаръ V, нагрѣваетъ его и сгущается въ немъ; потомъ поднявъ клапанъ r, который открывается снизу вверхъ, стремится вонъ, увлекая съ собой воздухъ. Тогда закрываютъ трубу T и, открывъ кранъ c', устроенный надъ резервуаромъ, обливаютъ послѣдній холодной водой. Сгущенный такимъ-образомъ паръ образуетъ пустое пространство въ резервуарѣ, клапанъ r закрывается, а давленіе атмосферы подымаетъ воду въ резервуаръ V, чрезъ подъемную трубу и клапанъ s, который при этомъ открывается. Когда резервуаръ V наполняется водой, въ него снова пускаютъ пары, которые выгоняютъ воду и заставляютъ ее подняться по водоподъемной трубѣ A. Выгнавъ воду изъ резервуара, паръ снова его наполняетъ, тогда закрываютъ трубу T, охлаждаютъ паръ водой, пущенной изъ крана c, и резервуаръ V снова наполняется водой, и т. д. Резервуаръ V' производитъ то же самое дѣйствіе попеременно съ резервуаромъ V, такъ что подъемъ воды въ A не прекращается. Труба a служитъ для наполненія паровика водою, когда открываютъ кранъ R Очевидно, что работнику, находящемуся при машинахъ, стоитъ только приводить въ движеніе рычагъ c, чтобъ напускать попеременно пары тѐ въ V, тѐ въ V' и открывать кранъ c, тѐ надъ однимъ, тѐ надъ другимъ резервуаромъ. Машина Савери имѣетъ тотъ недостатокъ, что при охлажденіи паровъ холодною водою бываетъ большая потеря пара. Папинъ впослѣдствіи устранилъ это неудобство, на сколько возможно, посредствомъ поплавка въ видѣ ящика, верхняя поверхность котораго, отдѣленная отъ воды пространствомъ наполненнымъ воздухомъ, могла сохранять большую часть жара, сначала сообщенную поплавку паромъ.

295 Атмосферная машина.—Машина Савери не могла подымать воду на большую высоту; высота эта зависѣла отъ упругости паровъ, которая должна была быть чрезвычайно велика при значительной глубинѣ рудниковъ; а потому машина Савери употреблялась только при подъемѣ воды въ увеселительныхъ садахъ, для поливки террасъ. Вопросъ объ осушеніи рудниковъ посредствомъ паровой машины былъ далеко еще не рѣшенъ, и механики ревностно доискива-

ли результатовъ болѣе удовлетворительныхъ, нежели опытъ Савери.

Одинъ ремесленникъ изъ Дортмута (Dortmouth), по имени Ньюкомэнъ (Newcomen), возъимѣлъ мысль употребить на это простые насосы, приводя ихъ въ дѣйствіе посредствомъ системы Папина (293) Въ компаніи съ другимъ ремесленникомъ, Кауле (Cauley), а впослѣдствіи и съ Савери, имѣвшимъ привилегію на производство пустаго пространства посредствомъ сгущенія паровъ, онъ сработалъ первую машину, которая съ пользою могла быть употреблена для выкачиванія воды изъ рудниковъ. Эта машина, извѣстная подъ именемъ атмосферной машины, представлена на фиг. 181-й: цилиндръ, въ

фиг. 181.



которомъ движется поршень P, имѣетъ сообщеніе нижнею своею частію съ паровикомъ C Стержень поршня прикрѣпленъ цѣпью къ большому рычагу B, B', называемому коромысломъ, другой конецъ котораго приводитъ въ движеніе стержень насоса T. Чтобъ оба стержня дѣйствовали вертикально, цѣпи наложены на дуги B, B, придѣланныя къ обоимъ концамъ коромысла. Два крана или клапана r, r', служатъ для открытія сообщенія между нижнею частью цилиндра попеременно, то съ паровикомъ, то съ резервуаромъ R, наполненнымъ водою, которая накачивается въ него насосомъ p, приводимымъ въ движеніе самой машиной.

Предположимъ, что кранъ r открытъ, а кранъ r' закрытъ, пары стремятся подъ поршень, и если ихъ упругость только производитъ давленіе равное атмосферному, то поршень уже подымается перетягиваемый тяжестью привѣса Q на другой сторонѣ коромысла Когда поршень достигнетъ верха цилиндра, то кранъ r закрываютъ, а кранъ r' открываютъ; вода впрыскивается мелкими струями во внутренность цилиндра и, приходя въ непосредственное соприкосновеніе съ паромъ, немедленно его охлаждаетъ: образуется пустота и давленіе атмосферы давитъ поршень внизъ съ силою, которая зависитъ отъ

величины поверхности онаго. Напримѣръ, если эта плоскость величиною въ квадратный метръ, и если не брать въ разчетъ упругость оставшагося пара, поршень будетъ опускаться съ силою около 10,000 килогр., потому что давленіе атмосферы на каждый квадратный сантиметръ равняется почти 1-му килогр

Въ начальныхъ опытахъ пары охлаждали, орошая холодною водою наружную часть цилиндра, прикрытую колпакомъ. Охлажденіе происходило не легко черезъ металлическія стѣнки, и машина дѣйствовала весьма медленно. Однажды изобрѣтатели замѣтили, что поршень опустился нѣсколько разъ сряду весьма быстро, хотя вода назначенная для охлажденія, не была пущена. Они стали разыскивать причину этого неожиданнаго явленія, и скоро открыли, что вода, которая обыкновенно находилась въ верхней части цилиндра, надъ поршнемъ, чтобъ не пропускать воздухъ чрезъ могущія быть скважины, нашла себѣ дорогу и протекла сквозь случайно образовавшуюся въ поршнѣ диру; они тогда вздумали, основываясь на этомъ фактѣ, охлаждать пары чрезъ непосредственное соприкосновеніе съ водою, посредствомъ впрыскиванія ея во внутренность цилиндра. Эта система сгущенія имѣла результатомъ важное усовершенствованіе въ отношеніи сбереженія, какъ паровъ, такъ и топлива; потому-что сначала, когда пары стремятся въ цилиндръ, они въ немъ чрезвычайно быстро охлаждаются, покуда цилиндръ самъ не нагрѣется, а очевидно, что впрыскиваніе воды, въ видѣ дождя, охлаждаетъ цилиндръ гораздо менѣе, нежели прежній способъ.

Вода, которая впрыскивается въ цилиндръ, и та, которая образуется отъ охлажденія паровъ, выпускается отъ времени до времени чрезъ кранъ S' Кранъ S служитъ для пополненія воды, которая постоянно должна находиться надъ поршнемъ; въ то время не умѣли еще дѣлать совершенно правильныхъ цилиндровъ.

Сначала поручено было работнику отворять и затворять краны s и s'. Однажды ребенокъ, по имени Гомфри Поттеръ (Humphry Potter), которому препоручена была эта работа, чтобъ отдѣлаться отъ нея, придумалъ привязать къ рычагамъ клапановъ веревочку, другой конецъ которой онъ прикрѣпилъ къ коромыслу: такимъ-образомъ при всякомъ движеніи этого послѣдняго, клапаны то отворялись, то запирались. Эта выдумка впослѣдствіи была усовершенствована: инженеръ Бейтонъ (Beighton) прикрѣпилъ къ коромыслу BB желѣзный рычагъ t, названный plug-frame, снабженный шарнирами, которые при поднятіи и опусканіи, приводили въ движеніе клапаны и краны

посредствомъ колѣнчатыхъ рычаговъ *o* и *c*. Машина стала тогда дѣйствовать безъ посторонней помощи; стоило только поддерживать огонь и добавлять воду въ паровикъ.

296. Холодильникъ (конденсаторъ) Уата. — Атмосферная машина Нюкомэна имѣетъ тотъ важный недостатокъ, что бо́льшая часть паровъ, охлаждаясь въ цилиндрѣ при орошеніи онаго водою, пропадаетъ даромъ. Въ 1763 году, шотландецъ Джемсъ Уатъ (Watt) занимаясь исправленіемъ модели машины Нюкомэна въ физическомъ кабинетѣ Гласгоскаго университета, при которомъ онъ находился хранителемъ, былъ пораженъ недостатками этой машины, недостатками еще болѣе ощутительными при малыхъ размѣрахъ модели. Чтобы отвратить этотъ недостатокъ, онъ сначала придумалъ впрыскивать гораздо мѐньшее количество воды въ цилиндръ; но тогда вода сильно нагрѣвалась, и соотвѣтствующая плотность паровъ представляла значительное сопротивленіе при опусканіи поршня. Это обстоятельство навело его на мысль производить охлажденіе паровъ не внутри цилиндра, а въ особомъ сосудѣ, помѣщенномъ близъ онаго и имѣющемъ съ нимъ сообщеніе въ ту самую минуту, когда подъ поршнемъ хотятъ образовать пустое пространство. Вода, образовавшаяся изъ охлажденныхъ паровъ, и воздухъ, который выдѣляется въ пустомъ пространствѣ изъ впрыскиваемой воды, постоянно выкачиваются особымъ насосомъ, называемымъ воздушнымъ. Насосъ этотъ приводится въ движеніе самой машиной, что́ конечно производитъ расходъ силы и, слѣдовательно, потерю пара; но эта потеря гораздо незначительнѣе той, которой можно избѣгнуть, употребляя холодильникъ.

Цилиндръ такимъ-образомъ оставался постоянно горячимъ и начальныя частицы пара могли немедленно дѣйствовать, не охлаждаясь. Но тутъ явилось новое неудобство: вода, находившаяся надъ поршнемъ, сочилась чрезъ скважины и, превращаясь въ пары, замедляла образованіе пустоты. Съ другой стороны воздухъ, который стремится въ цилиндръ при опусканіи поршня, охлаждалъ его стѣнки и неминуемо влекъ за собою потерю пара, при подпятіи онаго. Чтобъ устранить этотъ недостатокъ, Уатъ придумалъ закрыть сверху цилиндръ крышкою, снабженною въ центрѣ отверзтіемъ съ копопаткой (boîte à étoupe), сквозь которое проходилъ стержень поршня, замѣнивъ атмосферное давленіе давленіемъ паровъ, которые онъ пропускалъ и въ верхнюю часть цилиндра. Чтобъ привести машину въ дѣйствіе, нужно было сначала впустить пары съ обѣихъ сторонъ поршня, который при этомъ подымался вслѣдствіе тяжести отвѣса; потомъ от-

крывалось сообщеніе между нижнею частью цилиндра и холодильникомъ. Наконецъ, чтобъ предупредить охлажденіе цилиндра снаружи, Уатъ пропускалъ паръ между внѣшнею его поверхностью и особою оболочкою (кожухомъ), облекающею его снаружи.

Машина простаго дѣйствія. — Движеніе снаряда, усовершенствованнаго такимъ-образомъ, единственно зависитъ отъ дѣйствія пара; давленіе атмосферы не имѣетъ болѣе на него вліянія. Машину такого рода называютъ: машиною простаго дѣйствія (à simple effet), потому-что давленіе пара производится только на одну верхнюю часть поршня, во время его опусканія.

Паровая машина, сначала употребляемая только при разработкѣ каменнаго угля въ рудникахъ, по причинѣ дешевизны топлива, со времени этого важнаго усовершенствованія начала входить въ употребленіе на литейныхъ заводахъ и въ другихъ мастерскихъ. Изобрѣтеніе холодильника сократило на двѣ трети расходъ топлива. Несмотря на это огромное преимущество, Уату стоило большихъ усилій и времени чтобы примѣнить свою систему и заставить принять ее. Не имѣя никакихъ средствъ, и принужденный дѣлать свои опыты на моделяхъ, которыя онъ самъ выдѣлывалъ изъ стеклянныхъ трубочекъ и стклянокъ, онъ, казалось, уже не надѣялся ихъ примѣнить къ дѣлу, когда должность землемѣра, которую онъ занималъ, сблизила его съ докторомъ Рэбукомъ (Rœbuck), смѣтливымъ капиталистомъ, съ которымъ Уатъ вскорѣ вступилъ въ сообщество, но не успѣлъ еще привести въ исполненіе своихъ плановъ, когда тотъ совершенно разорился. По счастью вскорѣ, вмѣсто Рэбука, нашелся бирмингамскій фабрикантъ Бультонъ (Boulton), человѣкъ дѣятельный и предпріимчивый. Несмотря на его дѣятельность и вліяніе, въ началѣ 1,200,000 франковъ были израсходованы по-напрасну. Атмосферная машина, со всѣми ея неудобствами, долго еще предпочиталась Уатовой машинѣ, потому-ли что на это имѣли вліяніе предразсудки и рутина, или потому, что для поставки и устройства машины съ холодильникомъ требовалось первоначально гораздо бо́льшихъ расходовъ.

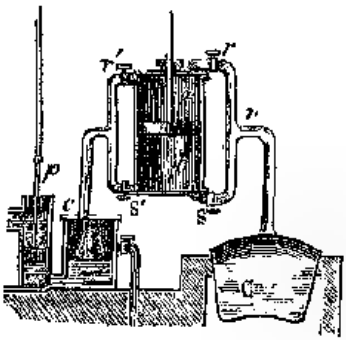
Чтобы дать понятіе о томъ, какое сбереженіе топлива доставляло употребленіе машины съ холодильникомъ, приведемъ слѣдующій фактъ: Уатъ и Бультонъ предлагали желающимъ замѣнить машину атмосферную Нюкомэна машиною ихъ изобрѣтенія на единственномъ условіи, чтобы имъ пользоваться одною третью доставленнаго чрезъ то сбереженія въ топливѣ. По предварительнымъ опытамъ, сдѣланнымъ надъ обѣими машинами, приводилась въ извѣстность величина

этого сбереженія, для каждаго движенія поршня. Слѣдовательно оставалось только узнать число ударовъ поршня втеченіи года. Съ этою цѣлью на коромыслѣ придѣлывалась коробка съ измѣрителемъ, отмѣчавшимъ число колебаній онаго; у ящика было два замка, ключи отъ которыхъ находились, одинъ у изобрѣтателя, а другой у заводчика. Экономія была такъ велика на трехъ машинахъ, поставленныхъ въ рудникахъ Чесвотера въ Корнваллисѣ, что владѣльцы скупали у изобрѣтателей треть годичнаго сбереженія топлива за сумму 60,000 фр. въ годъ, что соотвѣтствуетъ слишкомъ 18°.000 фр. всей экономіи

297. Машина двойнаго дѣйствія.—Въ машинѣ одинакаго дѣйствія противоположныя движенія поршня дѣйствуютъ съ различными скоростями, потому-что только при опусканіи поршня происходитъ давленіе пара. Это обстоятельство не представляетъ неудобствъ, когда требуется приводить въ движеніе только насосы; но при прядильныхъ и ткацкихъ машинахъ оно чрезвычайно важно, потому-что здѣсь требуется дѣйствіе равномѣрное. Уатъ предложилъ сначала поставить съ каждой стороны коромысла по цилиндру съ поршнемъ; но онъ вскорѣ замѣнилъ это устройство машиною двойнаго дѣйствія (à double effet), состоящей изъ одного цилиндра, закрытаго съ обоихъ концовъ, и въ которомъ поршень движется взадъ и впередъ силою пара.

Устройство машины двойнаго дѣйствія легко понять, взглянувъ на (фиг. 182). верхняя и нижняя части цилиндра сообщаются попеременно съ паровикомъ C, и съ холодильникомъ c, посредствомъ крановъ r, s, r', s'. Предположимъ сначала, что краны r и s' открыты, а остальные два закрыты. Паръ стремится въ верхнюю часть и заставляетъ поршень опускаться, пока воздухъ или паръ, находившійся подъ онымъ, переходитъ въ холодильникъ чрезъ кранъ s'. Воздушный насосъ p выкачиваетъ воздухъ и воду изъ сего послѣдняго. Когда поршень опустился, тогда въ свою очередь открываютъ краны r', s, а другіе закрываютъ. Тогда паръ стремится подъ поршень, подымаетъ его въ то время когда пары, находившіеся въ верхней части цилиндра, переходятъ своимъ порядкомъ въ холодильникъ черезъ кранъ r'.

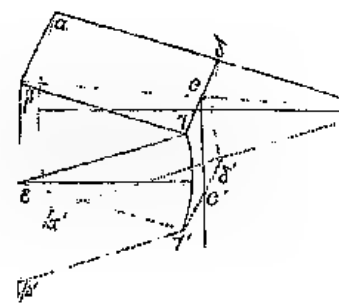
фиг. 182.



298. Уатовъ параллелограммъ. — При таковомъ устройствѣ паровой машины, накручивающіяся цѣпи, служащія для вертикальной передачи дѣйствія поршня, не могутъ быть употребляемы, потому-что стержень, при подвятіи поршня снизу вверхъ, не въ состояніи будетъ передавать движеніе коромыслу. Уатъ сначала думалъ устроить зубцы на дугахъ и на оконечности стержня, какъ на пневматической машинѣ, но скорая порча зубцовъ навела его на изобрѣтеніе новаго, чрезвычайно остроумнаго устройства. Вотъ принципъ, на которомъ оно основано

Возьмемъ два стержня одинаковой длины $O\delta$, $e\gamma$ фиг. 183), соединенныя колѣнчатымъ рычагомъ $\gamma\delta$. Точки δ и γ, двигаясь около точекъ O и e, описываютъ дуги $\delta\delta'$, $\gamma\gamma'$, и рычагъ $\delta\gamma$ приходитъ въ положеніе $\delta'\gamma'$; очевидно, что точка c, на его срединѣ, можетъ двигаться по прямой линіи. Впрочемъ, мы должны замѣтить, что линія, по которой двигается эта точка, не есть совершенно прямая; но такъ-какъ кривизна ея при точкѣ сгиба весьма незначительна, то мы можемъ принять ее за прямую. Затѣмъ продолжимъ линію $O\delta$ на величину $\delta\alpha$, равную оной, и предположимъ, что $O\alpha$ есть половина коромысла паровой машины. Построимъ изъ параллельныхъ прутовъ, взятыхъ по-парно, параллелограммъ $\alpha\beta\gamma\delta$, сочлененный въ углахъ, такъ-что онъ можетъ принять различныя положенія: $\alpha\beta\gamma\delta$, $\alpha'\beta'\gamma'\delta'$. Такъ-какъ точка c двигается по прямой, то очевидно и точка β будетъ двигаться по прямой, параллельной линіи cc'. Въ-самомъ-дѣлѣ три точки O, c, β лежатъ на одной прямой, потому-что $\alpha\beta = \delta\gamma$, которая вдвое болѣе δc, такимъ же образомъ, какъ $O\alpha$ вдвое болѣе $O\delta$. Откуда мы имѣемъ, что $Oc.\ O\beta = O\delta.\ O\alpha$; точно также $Oc'.\ O\beta = O\delta'.\ O\alpha'$. Сравнивъ эти пропорціи, мы получимъ, что $Oc.\ O\beta = Oc'.\ O\beta'$. Слѣдовательно, прямая cc' параллельна линіи соединяющей точки β β', и такъ-какъ это отношеніе не нарушится и при дальнѣйшемъ продолженіи линіи cc' и $\beta\beta'$, то очевидно, что если cc' линія прямая, то и линія, по которой будетъ двигаться точка β, будетъ тоже прямая. Въ этой-то точкѣ прикрѣплень, посредствомъ шарнира, стер-

Фиг. 183.



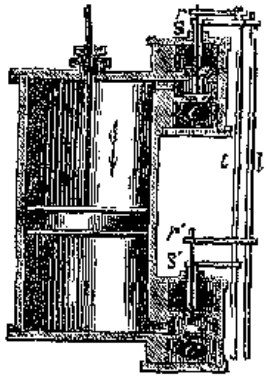
жень поршня; стержень же воздушнаго насоса прикрѣпляется къ точкѣ c

Мы полагали длину $O\alpha$ вдвое бо́льшею $O\delta$, а $\varepsilon\gamma$ равною $O\delta$. Есть и другія отношенія, дающія тѣ же результаты, но приведенныя нами наиболѣе употребительны.

299. Распредѣленіе пара.— Впускъ пара въ одну изъ частей цилиндра и охлажденіе онаго въ холодильникѣ производятся дѣйствіемъ самой машины. Приборъ, служащій для этого и замѣняющій краны r, r', s, s' (фиг. 181), называется распредѣлительнымъ, и бываетъ различнаго устройства.

Распредѣлительные клапаны.— Сначала Уатъ принялъ систему клапановъ съ шарнирами, которыхъ онъ впослѣдствіи устроилъ, какъ видно на фигурѣ 184-й: къ верхней и къ нижней части цилиндра придѣланы двѣ коробки съ клапанами $s\,o$, $s'\,o'$, снабженныя двумя отверстіями, и заключающихъ въ себѣ два коническихъ клапана. Нижнія отверстія o, o', находятся въ сообщеніи съ холодильникомъ, а верхнія съ паровикомъ. Стержень верхняго клапана, въ каждой коробкѣ имѣетъ въ себѣ трубчатое отверстіе, чрезъ которое проходитъ стержень нижняго. Оба стержня выходятъ наружу сквозь законопаченныя втулки и поперечными рычагами прикрѣпляются къ двумъ вертикальнымъ брускамъ l, t, такимъ-образомъ, чтобы одинъ изъ верхнихъ клапановъ приводился въ движеніе заодно съ однимъ изъ нижнихъ клапановъ. Эти бруски приводятся въ движеніе сверху внизъ и снизу вверхъ системою plugframe, похожею на ту, которую мы описали въ 195-мъ. Когда клапаны расположены, какъ видно на фигурѣ, тогда паръ проходитъ въ верхнюю часть цилиндра, нижняя часть котораго находится въ сообщеніи съ холодильникомъ чрезъ отверстіе o'. Когда брусъ t поднимается, а брусъ l опускается, то открытые клапаны s и r' закрываются, а другіе два, открываясь, пропускаютъ паръ подъ поршень, въ то время какъ верхняя часть цилиндра приходитъ въ сообщеніе съ холодильникомъ чрезъ отверстіе o.

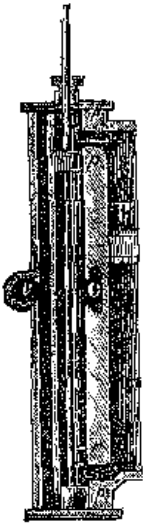
Фиг. 184.



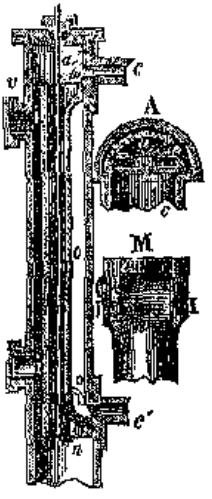
Золотники.— Фигура 185-я представляетъ другое устройство, весьма часто употребляемое, изобрѣтеніе котораго принадлежитъ также Уату. Паръ, притекая въ v, силится наполнить цилиндрическое пространство, имѣющее сообщеніе съ оконечностями пароваго цилиндра

и снабженное двумя поршнями p, p, которые соединены между собою стержнемъ, выходящимъ наружу чрезъ законопаченную втулку. Отверстіе o сообщается съ холодильникомъ. Когда поршни p, p, находятся въ положеніи, представленномъ на рисункѣ, паръ стремится изъ v и наполняетъ верхнюю часть цилиндра, поршень котораго P опускается, въ то время, какъ нижняя часть цилиндра находится въ сообщеніи съ холодильникомъ. При противномъ дѣйствіи поршень P подымается, а поршни p, p переходятъ въ положеніе r r.

фиг. 185.



фиг. 186.



Часто замѣняютъ поршни p, p, приборомъ, въ видѣ пустаго внутри цилиндра mn (фиг. 186), называемымъ скользящимъ золотникомъ котораго паръ свободно обхватываетъ, притекая въ p. Оконечности золотника хорошо выравнены; разрѣзы ихъ представляютъ полукруги, плоская сторона которыхъ, отлично выравненная, плотно приходится къ гладкой поверхности, гдѣ находятся отверстія c, для сообщенія съ верхнею частью пароваго цилиндра, и c' для сообщенія съ нижнею частью. Кривая часть золотника можетъ скользить въ окружающей его обкладкѣ изъ конопатки, i, образующей родъ поршня; наконецъ оконечность n полуцилиндрическаго пространства, заключающаго золотникъ, сообщается съ холодильникомъ.

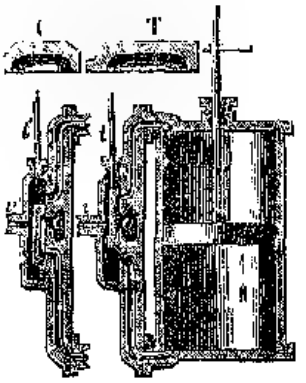
При положеніи, представленномъ на чертежѣ, пары проходятъ въ нижнюю часть насоса, между-тѣмъ какъ верхняя сообщается съ холодильникомъ черезъ внутренность золотника, показанную подъ буквою a въ разрѣзѣ. При положеніи α, α золотника, противное имѣетъ мѣсто, и поршень опускается. Подобное расположеніе получаетъ часто названіе *золотника въ буквѣ D*, вслѣдствіе сходства разрѣза его съ означенною буквою.

Эта система распредѣленія представляетъ важное неудобство; золотникъ неравномѣрно расширяется, коробится; вслѣдствіе чего только одна гладкая поверхность пристаетъ плотно, другая же пропускаетъ паръ. Недостатка этого избѣгаютъ, раздѣляя золотникъ на-

двое, такъ, чтобы обѣ оконечности были независимы другъ отъ друга.

Золотникъ съ раковиною. Этого рода золотникъ, изобрѣтенный въ 1801 г. Муррсемъ (Murray) изъ Лидса, состоитъ изъ прямоугольной чугунной призмы *T* (фиг. 187) выдолбленной съ одной стороны, какъ это видно на продольномъ разрѣзѣ *C*. Она помѣщается въ чехлѣ или паровомъ ящикѣ въ который пары входятъ чрезъ трубу *e*. Одна изъ сторонъ ящика прилагаетъ плотно къ гладкой плоскости, въ которой находятся три отверстія, сообщающіяся одно *o* съ холодильникомъ, два другія съ верхнею и нижнею частью цилиндра. Въ положеніи *t* золотника, пары проходятъ подъ поршень, а верхняя часть цилиндра сообщается съ холодильникомъ посредствомъ углубленія въ золотникѣ. Равно противное имѣетъ мѣсто въ положеніи *t'*, т. е. тогда нижняя часть цилиндра сообщается посредствомъ отверстія *o* съ холодильникомъ. Движеніе сообщается золотнику посредствомъ стержня *t*, проходящаго чрезъ законопаченную втулку.

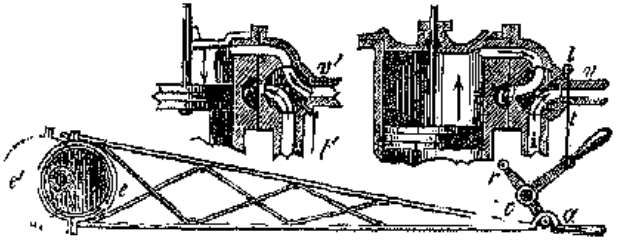
фиг. 187.



Золотникъ съ раковиною представляется лучшимъ распредѣлителемъ, но къ несчастію его невозможно употреблять при большихъ машинахъ, ибо пары прижимаютъ его къ плоскости, вдоль которой онъ скользитъ, съ силою пропорціональною поверхности, слѣдовательно очень значительною при большихъ размѣрахъ золотника. Это неудобство и заставило придумать золотникъ въ видѣ *D*.

Кранъ о четырехъ устьяхъ.—Наконецъ еще теперь употребляютъ Пашновъ кранъ о четырехъ устьяхъ. Въ положеніи *l* (фиг. 188),

фиг 188.



пары приходящіе въ v проходятъ подъ поршень чрезъ проходъ i, между-тѣмъ какъ верхняя часть цилиндра сообщается, чрезъ отверстіе c, съ холодильникомъ. Равно противное происходитъ въ положеніи v' золотника.

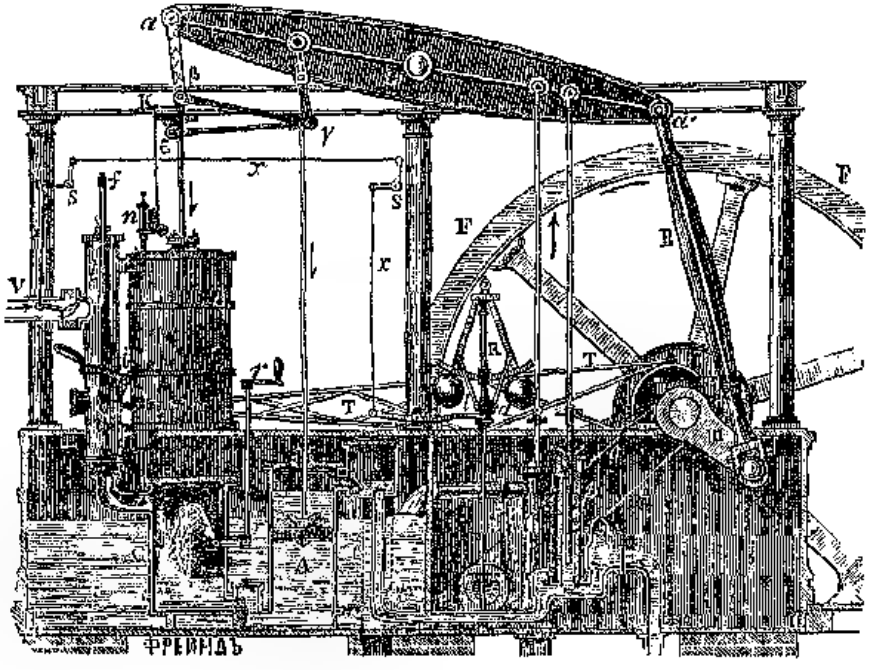
Папиновъ кранъ имѣетъ тотъ недостатокъ, что очень быстро портится отъ употребленія, потому-что ключь долженъ плотно сидѣть въ гнѣздѣ, для избѣжанія потери пара

300. Эксцентрикъ —Золотники и краны о четырехъ устьяхъ приводятся въ движеніе самою машиною Самый употребительный способъ для достиженія этой цѣли—слѣдующій. Въ машинахъ съ двойнымъ дѣйствіемъ, колебательное движеніе коромысла превращается въ вращательное, сообщаемое оси снабженной маховымъ колесомъ. На этой оси O (фиг. 188) находится эксцентрикъ, который есть ни что иное, какъ колесо, плоскость котораго перпендикулярна къ оси. но центръ котораго лежитъ внѣ этой оси, такъ-что оно вращается не вокругъ своего центра; въ e и e' видны два положенія эксцентрика діаметрально противоположныя другъ другу. Кольцо, соединенное съ цѣлою системою реекъ ea, окружаетъ эксцентрикъ, который можетъ вращаться въ этомъ кольцѣ, такъ-что конецъ a получаетъ движеніе взадъ и впередъ, справа налѣво и слѣва на право, при каждомъ полномъ оборотѣ эксцентрика. Оконечность a снабжена зарубкой, которая зацѣпляетъ за цилиндрическую, выдающуюся впередъ, часть ломаннаго рычага, ось котораго въ o. Этотъ рычагъ дѣйствуетъ, посредствомъ стержня t, на ключь l крана о четырехъ устьяхъ или на стержень золотника, приводя ихъ въ положенія, потребныя для правильнаго распредѣленія пара.

301. Перемѣна хода. Въ иныхъ машинахъ, какъ напр. въ пароходныхъ, бываетъ нужно сообщать оси вращеніе по произволу въ ту или другую сторону. Это дѣйствіе, посредствомъ котораго можно измѣнять направленіе движенія, называется перемѣною хода. Чтобы достигнуть этого результата, должно быть въ состояніи внезапно измѣнить положеніе крана или золотника, дѣйствуя рукою на ручку, находящуюся на концѣ верхняго плеча ломаннаго рычага ao фиг. 188), такъ чтобы эксцентрикъ e приводилъ стержень t въ движеніе, по направленію противоположному прежнему. Этого легко достигнуть помѣщая въ r оконечность a рейки ea, такъ, чтобы она дѣйствовала на плечо рычага ro, и слѣдовательно сообщала стержню t движеніе противоположное тому, какое онъ имѣлъ бы при томъ же положеніи эксцентрика, еслибы рейка дѣйствовала на плечо рычага ao.

302. Описаніе машины Уата двойнаго дѣйствія.—При помощи вышеописанныхъ подробностей легко понять общее устройство машины Уата двойнаго дѣйствія (фиг. 189). Цилиндръ, который

фиг. 189.



видѣвъ влѣво, получаетъ пары чрезъ трубу v, которая проводитъ ихъ непосредственно въ ящикъ золотника lv. Стержень поршня соединяется посредствомъ параллелограмма $\alpha\beta\gamma$ съ концомъ коромысла $\alpha\alpha'$, чрезвычайно твердаго рычага, обыкновенно дѣлаемаго изъ чугуна, колеблющагося на оси, пропущенной посрединѣ его. Другой конецъ коромысла α' соединенъ съ шатуномъ B, который въ свою очередь сочлененъ другимъ своимъ концомъ съ кривошипомъ m, прикрѣпленнымъ къ оси, которую требуется привести въ движеніе, такъ-что колебательное движеніе шатуна измѣняется въ круговое. Ясно, что величина кривошипа должна равняться половинѣ всего движенія поршня, если, какъ обыкновенно бываетъ, оба плеча равны. Маховое колесо FF, очень тяжелое, служитъ для сообщенія правильности движенію и для перелома въ такъ-называемыхъ мертвыхъ точкахъ, или критическихъ моментахъ, вслѣдствіе пріобрѣтенной имъ скорости. Точка эта случается тогда, когда шатунъ находится по направленію кривошипа и когда его усилія только гнетутъ на ось вращенія, не сообщая враща-

тельнаго движенія. Желѣзная рейка *TT*, прикрѣпленная къ кольцу, окружающему эксцентрикъ, приводитъ въ движеніе золотникъ посредствомъ рычага *vi* и двухъ висячихъ шатуновъ *b*, прикрѣпленныхъ къ оконечностямъ поперечной перекладины, на концѣ *f* стержня золотника. *C*—холодильникъ, въ которой впрыскиваютъ воду посредствомъ крана *r*. Вода для этого получается изъ резервуара, наполняемаго насосомъ *P*, который приводится въ движеніе коромысломъ. *A* — воздушный насосъ; выкачиваемая имъ изъ холодильника *C* горячая вода, вытекаетъ чрезъ трубку *e*; часть же ея втягивается чрезъ трубку *t* спабдительнымъ насосомъ *p*, который проводитъ ее обратно въ паровикъ, чтобы замѣнить потерю воды, превратившейся въ пары. Насосъ этотъ по большей части спабженъ погружающимся поршнемъ обыкновенныхъ насосовъ съ тою только разницею, что клапаны часто замѣняются простыми металлическими шарами, предѣлъ движенія которыхъ ограниченъ металлическими же уздами.

Центробѣжный уравнитель. — Чтобы уравнить скорость машины, несмотря на различю встрѣчающагося сопротивленія, Уатъ придумалъ измѣнять количество паровъ входящихъ въ распредѣлительный приборъ такимъ-образомъ, чтобы оно уменьшалось съ возрастаніемъ скорости. Онъ употребилъ для этого коническій маятникъ, служившій для управленія положеніемъ затворовъ гидравлическихъ пріемниковъ. Приборъ этотъ, изображенный въ *R* (фиг. 189), состоитъ изъ двухъ тяжелыхъ шаровъ, прикрѣпленныхъ на двухъ прутахъ къ вертикальному стержню *Ro*; еще другіе два прута касаются однимъ концомъ первыхъ двухъ, а другими связаны съ кольцомъ *a*, скользящимъ вдоль стержня *Ro*; такимъ-образомъ всѣ четыре образуютъ ромбъ, тѣмъ болѣе приближающійся къ квадрату, чѣмъ далѣе отстоятъ другъ отъ друга шары или, что то же, чѣмъ выше находится кольцо *a*. Весь приборъ приводится маховымъ колесомъ, чрезъ посредство безконечнаго ремня *cc* и зубчатокъ *o*, въ вращательное движеніе вокругъ оси *Ro*. Вслѣдствіе увеличенія скорости движенія машины, а съ тѣмъ вмѣстѣ и всего прибора *R*, центробѣжная сила уклоняетъ оба шара, а вмѣстѣ съ этимъ повышаетъ кольцо *a*; напротивъ, съ уменьшеніемъ скорости кольцо опускается. На шейку этого кольца надѣта вилка, оканчивающаяся рычагомъ *ll*, такъ что плечо *l* подымается и опускается вмѣстѣ съ кольцомъ *a*. Другое плечо рычага дѣйствуетъ, при посредствѣ прутовъ *xxx* и ломанныхъ рыча-

говъ SS, на ключь, представленный въ трубѣ V, затрудняя болѣе или менѣе входъ паровъ въ цилиндръ.

Съ тою же цѣлью иногда употребляютъ регуляторъ Молинье (Molinié); приборъ этотъ состоитъ изъ нѣкотораго рода вертикальныхъ, цилиндрическихъ, поддувальныхъ мѣховъ; верхняя пластинка дѣйствуетъ посредствомъ прута на ключь трубы V, который открывается болѣе или менѣе, сообразно попеременному движенію, сообщаемому машиною нижней пластинки мѣховъ.

303. Машины высокаго давленія.—Уатъ взялъ въ 1799 привилегію и на устройство машинъ, въ которыхъ, въ случаѣ недостатка холодной воды, пары по окончаніи дѣйствія не сгущались бы, а выпускались. На эту систему указывалъ уже и Папинъ, а основанія ея были описаны Лейнольдомъ (Leupold) въ 1724 г. Ясно, что въ этомъ случаѣ поршень получаетъ съ той стороны, въ которую обращено его дѣйствіе, сопротивленіе, равняющееся атмосферному давленію. Итакъ, пары, заставляющіе его двигаться, должны имѣть упругость, по-крайней-мѣрѣ, двухъ атмосферъ, если хотятъ, чтобы они производили дѣйствіе, равняющееся дѣйствію одной атмосферы при холодильникѣ. Такая машина называется машиною высокаго давленія; названіе же машинъ низкаго давленія предоставляется машинамъ, при которыхъ упругость паровъ менѣе двухъ атмосферъ; въ такомъ случаѣ всегда бываетъ холодильникъ.

Машина высокаго давленія и безъ холодильника гораздо проще, чѣмъ машины низкаго давленія. въ нихъ нѣтъ ни холодильника съ вознаградительнымъ и воздушнымъ насосами, нѣтъ ни прутовъ, ни трубъ, ни крановъ. . . ., сопровождающихъ эту часть машины. Поэтому машины эти теперь вообще предпочитаются машинамъ низкаго давленія: онѣ занимаютъ мѣньшее пространство, стоютъ дешевле, при одинакой силѣ расходуютъ меньше топлива и не требуютъ огромнаго количества воды, необходимаго для охлажденія. При всемъ томъ, машины эти очень часто бываютъ снабжены холодильникомъ, потому-что этимъ выигрывается цѣлое атмосферическое давленіе.

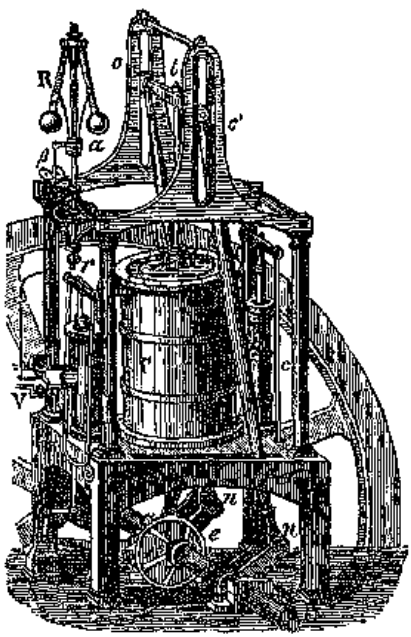
Папинъ первой построилъ машину безъ холодильника. Кажется, что Уатъ подобныхъ не устраивалъ. Теперь сообщаютъ парамъ давленіе отъ трехъ, четырехъ и до осьми атмосферъ. Въ Америкѣ доводятъ его и до десяти атмосферъ.

304. Различныя системы неподвижныхъ машинъ.— Уатова машина съ холодильникомъ чрезвычайно тяжела и занимаетъ огром-

ное пространство. Устройство съ коромысломъ представляетъ большія трудности при установкѣ, и притомъ обходится очень дорого. Съ самаго начала доискивались болѣе простыхъ устройствъ, и потому существуетъ множество моделей различныхъ паровыхъ машинъ. Мы не можемъ и думать представить здѣсь ихъ описанія, хотя бы и вкратцѣ. Замѣтимъ только, что всѣ паровыя машины, столь разнообразныя въ подробностяхъ, могутъ быть сведены къ слѣдующимъ тремъ: машинѣ Уата, уже описанной (202), машинѣ Модлэ (Maudslay) и машинѣ съ колеблющимися цилиндрами. Эти три системы главнымъ образомъ различаются въ способѣ передачи движенія поршня маховому колесу.

Машина Модлэ.—Фиг. 190-я изображаетъ машину этой системы, безъ холодильника: *C* рабочій цилиндръ; движеніе поршня управляется двумя катушками, прикрѣпленными къ оконечностямъ поперечнаго бруска *l*, и двигающимися въ двухъ неподвижныхъ пазахъ *cc'*, параллельныхъ стержню поршня. Два шатуна *cn* и *c'n*, сочлененные съ поперечнымъ брускомъ *l*, дѣйствуютъ въ *nn*, на два кривошипа, находящіеся на оси *O* маховаго колеса. Пары входятъ въ паровой ящикъ чрезъ трубку *U*, золотникъ приводится въ движеніе эксцентрикомъ *e*, колѣнчатымъ рычагомъ *o* и поперечнымъ брускомъ *r*, придѣланнымъ къ концу стержня этого золотника *i* — насосъ, снабжающій паровикъ водою; онъ приводится въ дѣйствіе эксцентрикомъ *e*, который чрезъ посредство шатуна *b*, приводитъ въ колебательное движеніе рычагъ третьяго порядка, котораго не видно на чертежѣ, и котораго конецъ, противоположный точкѣ опоры, дѣйствуетъ на два внѣшнихъ шатуна *c*. Центробѣжный уравнитель *R* получаетъ вращательное движеніе отъ оси маховаго колеса, чрезъ посредство безконечнаго ремня, проходящаго чрезъ два неподвижныхъ блока β. Кольцо *a* поднимаетъ болѣе или менѣе прутъ *aα*, оканчивающійся вилкою, которая обхва-

Фиг. 190.



тываетъ кольцо α, и нижнею своею оконечностью дѣйствуетъ на ключь, помѣщающійся въ проводникѣ пара V

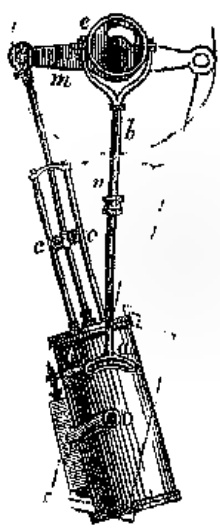
Система эта отличается особенною изящною простотою, когда цилиндръ помѣщается горизонтально, что̀ можно видѣть въ фиг. 198 (стр. 478).

Машины съ колеблющимися цилиндрами.—Манби (Manby) соединилъ стержень поршня непосредственно съ кривошипомъ, прикрѣпленнымъ къ оси маховаго колеса, давъ цилиндру возможность колебаться въ плоскости перпендикулярной къ этой оси. Для этого цилиндръ поддерживается на двухъ столбахъ двумя полуосями, одна изъ которыхъ видна въ o (фиг. 191). Стержень поршня дѣйствуетъ непосредственно на кривошипъ m и управляется двумя катушками, двигающимися между двумя стержнями, придѣланными къ крышкѣ цилиндра. Пары входятъ чрезъ одну изъ полуосей, внутри полую и сообщающуюся посредствомъ трубки съ паровикомъ. Тщательная конопатка подшипника дозволяетъ означенной полуоси вращаться безъ потери паровъ

Распредѣленіе производится весьма различнымъ образомъ. Въ машинахъ небольшихъ размѣровъ часто употребляютъ родъ крана о четырехъ устьяхъ, образуемаго коническою оконечностью полуоси обращающеюся въ неподвижномъ гнѣздѣ, съ каждымъ движеніемъ цилиндра.

Въ машинахъ же большихъ размѣровъ употребляются золотники, приводимые въ движеніе различными способами. Вотъ одинъ изъ простѣйшихъ: эксцентрикъ e (фиг. 191) опускаетъ и подымаетъ шатунъ b, который направляется при n, и на концѣ своемъ имѣетъ пазъ a, въ видѣ дуги, центръ которой въ o. Рычагъ l, приводящій въ движеніе стержень золотника имѣетъ пуговку, которая скользитъ по пазу, во время колебанія поршня. Золотникъ не измѣнялъ бы своего положенія, еслибы пазъ a оставался въ спокойствіи, но такъ какъ онъ то̀ подымается, то̀ опускается, отъ дѣйствія эксцентрика e, то и золотникъ приводится въ попеременное движеніе. Пары входятъ чрезъ одну полуось, и выходятъ чрезъ другую. Снабдительный насосъ приводится въ движеніе другимъ эксцентрикомъ, придѣланнымъ къ оси маховаго колеса.

фиг. 191.



Колеблющіяся машины, изобрѣтенныя въ Англіи Манби и введенныя во Францію Кавѣ (Cave), не исполнили блестящія ожиданія. Быстрая порча осей, на которыхъ лежитъ вся тяжесть и напряженіе машины, заставила покинуть это устройство, особенно при машинахъ большихъ размѣровъ.

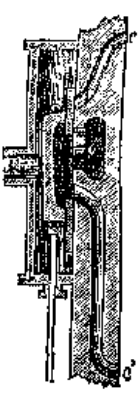
Вращательныя машины. Для уничтоженія потери силы, проистекающей отъ измѣненія прямолинейнаго движенія въ вращательное, старались устроить машины съ непосредственно вращательнымъ дѣйствіемъ, т. е. такія, въ которыхъ паръ сообщалъ бы движеніе посредственно оси колеса. Первые опыты этого устройства были сдѣланы Уатомъ, и съ-тѣхъ-поръ многіе изобрѣтатели представляли весьма остроумныя разрѣшенія этой задачи. Пекеръ (Pecqueur, первый устроилъ машину, годную для примѣненія въ промышленности, но она вообще не принята. Главный недостатокъ ея заключается въ томъ, что при одинаковомъ количествѣ дѣйствія, истрачивается болѣе паровъ, чѣмъ въ машинахъ съ попеременнымъ движеніемъ.

305. Машины съ расширеніемъ пара. — Уатъ, замѣтивъ, что въ иныхъ случаяхъ движеніе поршня бываетъ ускорительное, вслѣдствіе чего происходитъ толчокъ въ моментъ измѣненія его направленія, придумалъ, для избѣжанія этого неудобства, впускать пары въ цилиндръ только впродолженіи части хода поршня. Впущенные пары дѣйствуютъ затѣмъ своею упругостью, или вслѣдствіе расширенія съ силою укоснительною, зависящею отъ увеличенія объема, величину котораго можно вычислить приблизительно, для каждаго положенія поршня, по закону Маріота (290). Уатъ впускалъ пары приблизительно только до трети хода поршня. Независимо отъ бо́льшей правильности въ движеніи поршня, при этомъ устройствѣ ощутителенъ значительный выигрышъ въ парахъ, а слѣдовательно и въ топливѣ. Эта сбереженіе паровъ происходитъ отчасти въ ущербъ производимой работы, но ущербъ этотъ далеко не пропорціоналенъ массѣ паровъ. Для примѣра положимъ, что пары, входящіе въ цилиндръ, будутъ дѣйствовать при давленіи P въ паровикѣ только впродолженіи $^1/_3$ или $^2/_6$ хода поршня, а впродолженіи остальныхъ четырехъ-шестыхъ съ давленіемъ равнымъ, послѣдовательно, $P^2/_3$, $P^2/_4$, $P^2/_5$, $P^2/_6$, принимая законъ Маріота и пренебрегая измѣненіями давленія впродолженіи каждой шестой. Взявъ среднюю величину этихъ давленій и давленія P, втеченіи первыхъ двухъ шестыхъ, находимъ $P\frac{3,9}{6} = 0,65\,P$, величину которая болѣе $^1/_3 P$, $= 0,333\,P$. Такимъ-образомъ, употребляя только треть паровъ, имѣемъ сред-

нее давленіе, которое гораздо болѣе трети P; мы получили бы еще большую величину, еслибы умножили число моментовъ движенія, впродолженіи которыхъ давленіе предполагается неизмѣннымъ. Можно еще убѣдиться въ выгодѣ расширенія, принимая во вниманіе, что если пары входятъ только впродолженіи $\frac{1}{n}$ хода поршня, то и количество производимой работы будетъ въ $\frac{1}{n}$ менѣе работы, которую произвели бы пары, входя впродолженіи всего хода поршня, слѣдовательно и трата паровъ будетъ въ n разъ менѣе, а потомъ уже выигрывается вся работа, производимая расширеніемъ

Способъ произвести расширеніе. Уатъ пріостанавливалъ входъ паровъ въ цилиндръ, посредствомъ затычки, соединенной со стержнемъ воздушнаго насоса, которая закрывала впускной клапанъ въ его распредѣлительномъ ящикѣ съ клапанами (299). Теперь употребляютъ и другіе способы: иногда помѣщаютъ клапанъ въ трубѣ, снабжающей цилиндръ паромъ, и который закрывается при помощи эксцентрика, когда поршень прошелъ часть своего хода; иногда прибавляютъ второй золотникъ, называемый накрывательнымъ и скользящій надъ главнымъ распредѣлительнымъ золотникомъ; оба золотника помѣщаются или въ одномъ и томъ же ящикѣ, или каждый въ отдѣльномъ, первый золотникъ пропускаетъ, или удерживаетъ пары, идущіе во второй. Наконецъ можно употреблять одинъ золотникъ съ раковиною, но его слѣдуетъ приводить въ движеніе посредствомъ эксцентрика, кришпапа котораго должна быть такова, чтобы дѣйствовать на золотникъ съ быстротою, измѣняющеюся согласно опредѣленному закону.

фиг. 192.

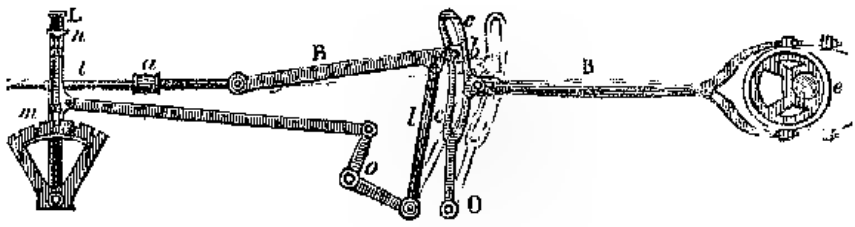


Расширеніе Клапейрона (Clapeyron) Клапейрону удалось устроить расширеніе посредствомъ одного золотника и обыкновеннаго эксцентрика. Золотникъ (фиг. 192 снабженъ двумя пластинками, которыя могутъ закрывать отверстія, чрезъ которыя входятъ пары, на болѣе или менѣе краткій срокъ, такимъ-образомъ, что сообщеніе c напримѣръ закрыто покуда c' въ сообщеніи съ холодильникомъ чрезъ отверстіе o. Это отверстіе довольно велико и можетъ быть безъ помѣхи отчасти закрыто, какъ видно на фигурѣ. Тогда расширеніе происходитъ подъ поршнемъ, покуда золотникъ подымается. Моментъ, когда каналъ закрытъ, зависитъ отъ размѣровъ пластинокъ α и β и отъ

разстояния $\alpha\beta$; онъ зависитъ также отъ предѣла движенія золотника.

306 Перемѣнное расширеніе. — Весьма полезно, чтобы расширеніе можно было измѣнить, смотря по сопротивленію, противодѣйствующему машинѣ. Для этой цѣли употребляютъ различныя средства; иногда измѣняютъ величину поперемѣннаго движенія накрывательнаго золотника; иногда измѣняютъ эксцентрикъ, приводящій въ движеніе кладанъ расширенія. Чаще прибѣгаютъ къ первому способу, измѣняя величину движенія одинокаго золотника, при помощи устройства, которое позволяетъ произвольно измѣнять расширеніе, даже на ходу; стержень l золотника (фиг. 193), направляемый кольцомъ a, приводится

фиг. 193

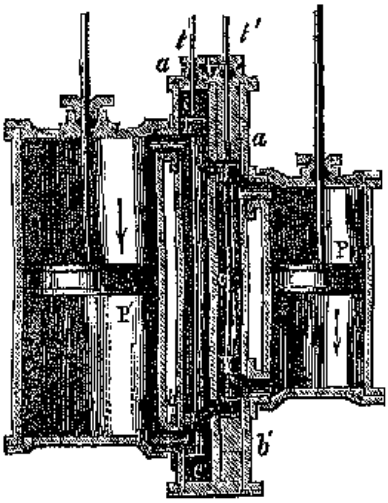


въ движеніе шатуномъ B. Этотъ шатунъ оканчивается пуговкою b, которая двигается въ пазу rc, сочлененномъ такимъ-образомъ въ точкѣ O, что слѣдуетъ за движеніемъ шатуна B эксцентрика. Величина движенія золотника зависитъ отъ разстоянія Ob. Разстояніе это можно измѣнять, при помощи сочлененнаго стержня и составнаго рычага, на которые дѣйствуютъ при помощи рычага L. Рычагъ этотъ снабженъ защелкою n, которую вводятъ въ одну изъ зарубокъ дуги m, такъ, чтобы пуговка b находилась въ опредѣленномъ разстояніи отъ точки O. Во многихъ машинахъ перемѣнное ослабленіе уравнивается центробѣжнымъ регуляторомъ, который дѣйствуетъ на стержень b, такъ, что свободный впускъ пара тѣмъ менѣе, чѣмъ скорѣе идетъ машина.

Машина съ расширеніемъ Вульфа. Въ машинахъ Вульфа расширеніе происходитъ въ другомъ мѣньшемъ паровомъ цилиндрѣ, отдѣленномъ отъ главнаго (фиг. 194). Нижняя часть каждаго цилиндра сообщается съ верхнею частью другаго. Паръ входитъ свободно въ цилиндръ P, производя дѣйствіе на поршень, переходитъ въ другой цилиндръ, гдѣ дѣйствуетъ расширеніемъ на поршень P', бо́льшій чѣмъ P. Впускъ пара управляется системою золотниковъ съ подвижными

поршнями въ трубахъ $a\ b$ и $a'\ b'$. Въ положеніи представленномъ на чертежѣ, четыре поршня золотниковъ подняты помощью стержней t, t',

фиг. 194.



паръ притекаетъ чрезъ отверзтіе o и проходитъ въ пространство надъ поршнемъ P, тогда какъ паръ, находившійся подъ нимъ, устремляется въ пространство надъ поршнемъ P', и производитъ на него давленіе своимъ расширеніемъ; между-тѣмъ пространство подъ поршнемъ P' сообщается съ внѣшнимъ воздухомъ, или съ холодильникомъ чрезъ отверзтіе c'. Когда оба поршня P, P' достигли предѣла своего движенія, стержни t' опускаются, сообщая золотникамъ положеніе означенное пунктиромъ. Тогда паръ притекающій чрезъ отверзтіе o, идетъ подъ поршень P, а паръ, находившійся подъ нимъ, проникаетъ подъ поршень P, котораго и поднимаетъ своимъ расширеніемъ, между-тѣмъ какъ пространство надъ нимъ сообщается отверзтіемъ c, съ внѣшнимъ воздухомъ или холодильникомъ. Поршни P и P' придѣланы къ концамъ коромысла, при помощи одного и того же параллелограмма, сочлененнаго въ двухъ точкахъ взятыхъ на прямой, проходящей чрезъ ось коромысла и противоположный уголъ параллелограмма (298) Машина Вульфа, сначала пользовавшаяся малымъ успѣхомъ, теперь всё болѣе-и-болѣе входитъ въ употребленіе, по причинѣ значительнаго сбереженія топлива при ея дѣйствіи.

307. Работа паровыхъ машинъ. — Число килограмметровъ доставляемыхъ паровою машиною въ извѣстный промежутокъ времени, можетъ измѣряться при помощи снаряда, или нажима, Прони, придѣланнаго къ оси маховаго колеса. Работа эта измѣряется бо́льшею частью паровыми лошадиными силами cheval-vapeur), единицею впервые употребленною Савери. Извѣстно, что единица эта представляетъ 75 килограмметровъ въ секунду, и что для замѣны одной паровой лошадиной силы, потребна 24-хъ часовая работа 5,5 живыхъ лошадей. Работа паровой машины также можетъ быть вычислена изъ размѣровъ паровaго цилиндра и упругости пара.

Вычисленіе работы поршня.—Предположимъ сперва, что машина дѣйствуетъ *съ полнымъ паромъ*, т.-е безъ расширенія. Пусть S,

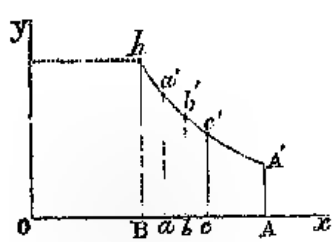
поверхность поршня, H разность давленія пара въ цилиндрѣ и давленія его въ холодильникѣ или въ атмосферѣ, смотря потому, со сгущеніемъ ли машина или безъ онаго, и пусть l будетъ пространство, пройденное въ 1". Работа произведенная въ это время, будетъ SHl или VH, означая чрезъ V объёмъ пара, занимающаго длину l пароваго цилиндра. Выражая величину V въ кубическихъ дециметрахъ, а H въ дециметрахъ водянаго столба мы получимъ величину VH, выражающую число килограмметровъ доставляемыхъ въ 1".

Для полученія работы во время одного движенія поршня въ машинѣ съ расширеніемъ, должно прибавить къ работѣ, совершенной во время свободнаго впуска пара, работу производимую расширеніемъ. Первая равняется SlH, называя чрезъ l пространство, пройденное поршнемъ при полныхъ парахъ.

Если на линіи Ox (фиг. 195) возьмемъ абциссу OB, выражающую величину l, и на перпендикулярѣ, возстановленномъ въ B ординату Bh равную Hl, то площадь прямоугольника Oh, умноженная на S представитъ работу, которую совершилъ поршень, пройдя пространство l.

Чтобъ получить работу, производимую расширеніемъ, представимъ себѣ сначала, что въ холодильникѣ совершенно безвоздушное пространство Пусть OA длина L пароваго цилиндра. $BA = l'$, будетъ пространство пройденное поршнемъ во время расширенія; раздѣлимъ это пространство на n равныхъ частей Ba, ab, bc... и положимъ, что при прохожденіи каждой изъ нихъ давленіе паровъ остается постояннымъ; выразимъ эти давленія ординатами Bh, aa', bb', cc'..., Работа, совершенная въ каждое изъ этихъ подраздѣленій, выразится площадями прямоугольниковъ Ba', ab', bc'..., умноженными на S, а вся работа поршня подъ конецъ его движенія — суммою этихъ площадей, т.-е., при n равномъ безконечности,—площадью $BAA'h$ Чтобъ вывести давленія aa', bb', cc', предположимъ, что пары расширяются по закону Маріота, и пусть y — давленіе для разстоянія отъ точки O, равняющагося x; тогда получимъ $xy = OB \times Bh$, откуда можно вывести величину y. Формула эта есть также выраженіе кривой hA', слѣдовательно, кривая эта есть гипербола, выраженная въ асимптотахъ ея Ox, Oy. Итакъ, чтобъ вычислить работу, соотвѣтствующую

фиг. 195.



одному движенію поршня въ машинѣ съ расширеніемъ, достаточно прибавить къ прямоугольнику Oh площадь, заключенную между равносторонней гиперболою, асимптотою ея Ox и двумя ординатами $x = l$, $x = L$; выраженіе этой гиперболы $xy = lH$.

Когда машина безъ холодильника, то исчисляютъ работу тѣмъ же способомъ; но за ординаты надобно принять разности между атмосферымъ давленіемъ и упругостью пара, разсчитанною по формулѣ $xy = lH$. Въ такомъ случаѣ кривая уже не будетъ равносторонней гиперболою.

Чтобъ изобразить работу машины аналитическою формулою, нужно вычислить алгебраическую величину означенной площади. Такъ, въ случаѣ отсутствія охлажденія, мы получимъ выраженіе $V(H \log \frac{L}{l}\, 2{,}3026 - 10{,}32 \frac{l}{L})$, которое приводится въ $VH \log \frac{L}{l}\, 2{,}3026$, если охлажденіе не имѣетъ мѣста и въ холодильникѣ предполагается пустое пространство.

Вотъ таблица работы одного и того же количества пара при расширеніи, происходящемъ на пространствѣ 1, 2, 3 .. десятыхъ всего движенія поршня, работа при полныхъ парахъ принята за единицу:

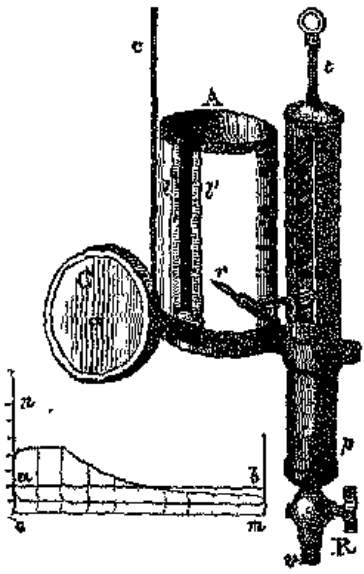
ЧАСТЬ хода поршня, послѣ которой начинается расширеніе.	ПРОИЗВОДИМАЯ РАБОТА.	ЧАСТЬ хода поршня, послѣ которой начинается расширеніе	ПРОИЗВОДИМАЯ РАБОТА.
1	1,000	0,5	1,693
0,9	1,105	0,4	1,916
0,8	1,223	0,3	2,204
0,7	1,357	0,2	2,609
0,6	1,509	0,1	3,302

Работа, передаваемая поршнемъ, гораздо болѣе той, которая получается на оси маховаго колеса, вслѣдствіе потери отъ сопротивленія передаточныхъ частей машины и работы, идущей на приведеніе въ дѣйствіе вспомогательныхъ насосовъ машины. Въ машинахъ слабаго давленія, въ 10 до 100 лошадиныхъ силъ, работа при оси маховаго колеса равняется отъ 0,40 до 0,60 теоретически выведенной работы. Машины высокаго давленія, съ давленіемъ 5-ти ат-

мосферъ, съ расширеніемъ $^4/_5$ и безъ охлажденія, даютъ наивыгоднѣйшій результатъ.

308. Указатель Уата.—Уатъ придумалъ маленькій снарядъ, впослѣдствіи значительно усовершенствованный Комбомъ (Combes), который показываетъ давленіе въ паровомъ цилиндрѣ, соотвѣтствующее каждому положенію поршня, а слѣдовательно и ходъ расширенія; откуда потомъ можно вывести работу произведенную подъ конецъ его движенія. Указатель состоитъ изъ небольшаго насоса (фиг 196), привинченнаго къ крышкѣ пароваго цилиндра машины; когда пары проникаютъ въ верхнюю часть цилиндра, они поднимаютъ поршень *p*, нажимая винтообразную пружину вокругъ стержня *t*. Стержень этотъ снабженъ сочлененнымъ карандашемъ *r*, который вмѣстѣ съ нимъ подымается и опускается; карандашъ снабженъ пружиною, которая прижимаетъ его къ вертикальному барабану *A*, обтянутому бѣлою бумагою, края которой придерживаются двумя гибкими пластинками *l*, *l'*. Когда пары приподымаютъ поршень *p*, карандашъ проводитъ вертикальную черту на барабанѣ *A*, если онъ неподвиженъ; но барабанъ приводится въ вращательное движеніе при поднятіи поршня машины. Движеніе сообщается барабану при помощи шнура *c*, прикрѣпленнаго къ верхнему концу стержня этого поршня, и обхватывающаго шкивъ *C*. Къ шкиву придѣланъ маленькій валъ, около котораго пущенъ другой шнурокъ, идущій по пазу вокругъ основанія барабана. Слѣдовательно, послѣдній обращается со скоростью, постоянно пропорціональною быстротѣ движенія поршня. Наконецъ спиральная пружина внутри барабана заставляетъ его возвращаться обратно, когда шнуръ отпускается во время обратнаго движенія поршня машины. На фиг. 189-й, буквою *n* означенъ указатель на машинѣ Уата, а буквою *K* точка прикрѣпленія шнура, приводящаго въ движеніе барабанъ. Отъ совмѣстнаго движенія барабана и карандаша, послѣдній чертитъ кривую линію на бумагѣ.

фиг. 196.



Теперь возьмемъ горизонтальную линію *ab* (фигура 196), равную дугѣ, описываемой барабаномъ *a* во время поднятія поршня машины,

и примемъ ее за линію, которую карандашъ начертилъ бы, еслибъ поршень съ обѣихъ сторонъ находился подъ атмосферным давленіемъ. Пусть *om* линія, которую карандашъ описалъ бы при совершенной пустотѣ подъ поршнемъ *p*. Пары входятъ свободно въ верхнюю часть паровaго цилиндра, приводятъ поршень *p* въ положеніе, при которомъ существуетъ равновѣсіе между производимымъ ими давленіемъ и сопротивленіемъ винтообразной пружины, причемъ острие *r* проводитъ горизонтальную черту.

Съ той минуты, какъ пары перестанутъ входить въ паровой цилиндръ и начнется расширеніе, винтообразная пружина понизитъ поршень *p*, вмѣстѣ съ карандашомъ, который начертитъ кривую линію; ея ординаты, зависящія отъ давленія, будутъ постепенно уменьшаться; когда снарядъ возвратится на прежнее мѣсто, карандашъ напишетъ прямую линію подъ *ab*, если есть охлажденіе, или совпадающую съ нею, если машина безъ холодильника. Въ послѣднемъ случаѣ эта линія всегда надъ *om*, потому-что никогда нѣтъ совершенной пустоты.

Такъ-какъ пространство пройденное поршнемъ, пропорціонально разстояніямъ, отмѣреннымъ на *ab*, а производительное давленіе паровъ—разностямъ ординатъ, считая отъ *om*, то работа произведенная во время двойнаго движенія поршня, будетъ выражаться площадью замкнутой кривой линіи, описанной карандашомъ; вслѣдствіе чего инструменту дано названіе тотализатора (totalisateur).

309. Примѣчаніе.—Громадная разница между вычисленною работою и работою, дѣйствительно производимою осью махового колеса, не зависитъ единственно отъ сопротивленія при передачѣ движенія и отъ потери силы при приведеніи въ движеніе различныхъ частей механизма; самое количество силы дѣйствующее на поршень не равняется теоретической работѣ, вслѣдствіе сопротивленія, встрѣчаемаго парами въ трубахъ и въ самомъ цилиндрѣ, гдѣ они проходятъ по изгибамъ. Отсюда происходитъ, что относительные размѣры и форма этихъ частей прибора, имѣютъ значительное вліяніе на дѣйствіе поршня. Пары должны свободно проходить чрезъ большія отверстія. Площадь сѣченія проводниковъ обыкновенно равняется $\frac{1}{21}$ площади основанія цилиндра. Однако не должно дѣлать ихъ слишкомъ широкими, потому-что все количество пара, остающееся въ проводникѣ, начиная съ золотника, теряется не производя никакого дѣйствія.

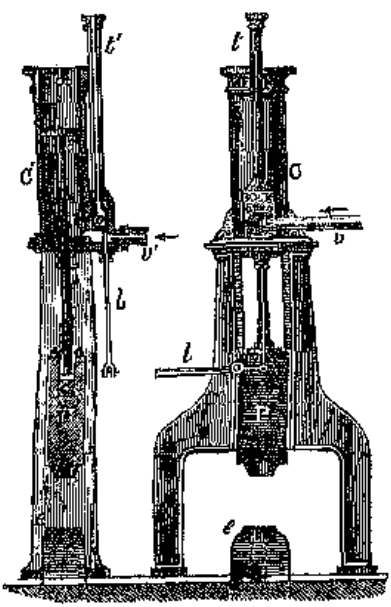
Всѣ другія части машины должны быть такъ устроены, чтобы представлять, какъ можно менѣе сопротивленія. Маховое колесо не должно быть слишкомъ тяжело, по причинѣ треня оси о подушки: лучше уменьшить его массу, увеличивъ въ то же время радіусъ, чтобы сохранить тотъ же моментъ инерціи. Если сопротивленіе, которое машина должна преодолѣвать, значительно измѣняется, какъ это бываетъ напримѣръ съ площильными машинами, то ось, на которую дѣйствуетъ сила, снабжается зубчатымъ колесомъ, которое дѣйствуетъ на шестерню, прикрѣпленную къ другой оси, соединенной съ маховымъ колесомъ. Такимъ-образомъ массу колеса замѣняютъ его скоростью, потому-что въ упомянутомъ случаѣ онъ вращается чрезвычайно быстро и представляетъ настоящій запасъ силы, израсходываемой съ пользою въ моменты сильнаго сопротивленія.

Всякое упрощеніе отдѣльныхъ частей паровой машины увеличиваетъ ея производительность. Цѣль, къ которой стремятся теперь всѣ механики, состоитъ въ уменьшеніи объема, вѣса, а слѣдовательно и цѣны прибора. Въ послѣднее время были сдѣланы, въ этомъ отношеніи большіе успѣхи, вслѣдствіе устройства машинъ съ высокимъ давленіемъ и горизонтальными цилиндрами, расположенными, какъ показано на чертежѣ 198-мъ. Фло (Flaud) строилъ машины поразительно малыхъ размѣровъ, если принять въ соображеніе количество производимой ими работы, примѣнивъ къ нимъ мысль Жиффара (Giffard)— вознаградить скоростью движенія малость размѣровъ поршня. Для примѣра мы приведемъ машину въ три лошадиныя силы, дѣйствующую подъ давленіемъ 4-хъ атмосферъ. Эта машина, въ сравненіи съ другою машиною того же числа силъ, при тѣхъ же условіяхъ, стоитъ только 1000 франковъ, вмѣсто 3600, занимаетъ пространство въ 0,55 кубическихъ метровъ, вмѣсто 16; вѣситъ 60 килогр., вмѣсто 1800, и истребляетъ только двѣ трети топлива, но зато производитъ 600 ударовъ поршня, вмѣсто 100. Скажемъ еще о машинѣ 20 лошадиныхъ силъ, вѣсящей 1800 килогр и стоющей только 5000 франковъ, между-тѣмъ какъ точно такая же машина, но обыкновенной системѣ, стоитъ отъ 16 до 18000. Чрезвычайный успѣхъ этихъ машинъ, ихъ дешевизна, легкость перемѣщенія и возможность помѣщенія ихъ непосредственно въ тѣхъ частяхъ мастерскихъ, гдѣ онѣ должны употребляться, современемъ будетъ все болѣе-и-болѣе способствовать распространенію паровыхъ двигателей.

310. Важное значеніе паровыхъ машинъ въ промышленномъ отношеніи. — Независимо отъ примѣненія ихъ къ нарохо-

дамъ и паровозамъ, паровыя машины, представляя собою экономическій двигатель *), одаренный силою, превосходящею всѣ до-сихъ-поръ извѣстныя естественныя силы дозволили разрѣшить многія задачи промышленной механики и привести въ исполненіе предпріятія, казавшіяся прежде невозможными. Такимъ-образомъ устроили машины работа которыхъ равняется дѣйствію 2000 паровыхъ силъ. Паровыя машины особенно важны въ мѣстностяхъ, гдѣ не имѣется въ распоряженіи водянаго двигателя и гдѣ, слѣдовательно, приходится употреблять лошадиную силу. Это легко объяснить однимъ примѣромъ. Лѣтъ тридцать тому назадъ, предприняли раскапывать въ департаментѣ Мерты соляныя копи; для выкачиванія воды употребляли насосы съ приводами, въ которые запрягали двадцать четыре лошади. При томъ работа была такъ изнурительна, что одна лошадь не могла работать болѣе одного часа въ день, а случалось, что иныя внезапно падали. Такимъ-образомъ, чтобы выкачивать воду изъ копи, требовалось ежедневно 576 лошадей; а такъ-какъ съ углубленіемъ копи стала прибывать и вода, то наконецъ должны были покинуть все предпріятіе, между-тѣмъ, какъ одной паровой машины въ двадцать четыре силы было бы достаточно, чтобы выкачивать всю воду.

фиг. 197.



Паровой молотъ.—Это счастливое примѣненіе силы паровъ изобрѣтено Шнейдеромъ въ Крезо (Creusot): оно представляетъ намъ еще одинъ примѣръ громадныхъ результатовъ, которыхъ можно достигнуть при помощи паровыхъ двигателей Паровой молотъ или постовой молотъ (marteau pilon) состоитъ изъ чугунной бабы *P* (фиг. 197), вѣсящей до 8000 килогр. и соединенной съ стержнемъ поршня, двигающагося въ цилиндрѣ *C*, разрѣзъ котораго видѣнъ въ *C'*. Два боковыхъ паза направляютъ движеніе бабы. Нижній конецъ стержня поршня снабженъ эластическою массою *c*, которая служитъ для того,

*) Въ Парижѣ, лѣтъ двадцать тому назадъ, до новѣйшихъ усовершенствованій, работа паровой машины обходилась въ пять разъ дешевле лошадиной.

чтобы ослаблять толчокъ при ударѣ. Наконецъ стержень окруженъ спиральною пружиною для предотвращенія удара бабы о дно цилиндра при поднятіи. Сверхъ-того, для предотвращенія слишкомъ значительнаго поднятія поршня, въ верхней части цилиндра сдѣлано нѣсколько отверстій расположенныхъ кольцомъ; какъ-скоро поршень перейдетъ эти отверстія, пары вырываются чрезъ нихъ и поршень немедленно опускается Чтобы привести въ дѣйствіе эту машину, поднимаютъ золотникъ *o*, при помощи стержня *l*, дѣйствуя на рычагъ *l*. Пары, проходящіе при высокомъ давленіи чрезъ трубу *v v'*, входятъ подъ поршень и подымаютъ его, а вмѣстѣ съ нимъ и бабу *P*. Затѣмъ опускаютъ золотникъ *o*, пары освобождаются чрезъ трубу *l*, *l*, баба падаетъ и ударяется о наковальню *e*, *e'*, съ тѣмъ бо́льшею силою чѣмъ выше она была поднята. Движеніе можетъ простираться до 1 метра. Посредствомъ этого прибора можно ковать и наваривать огромныя массы.

Если хотятъ произвести рядъ поспѣшныхъ ударовъ, то золотнику сообщаютъ попеременное движеніе посредствомъ двухъ шпильковъ, придѣланныхъ къ бабѣ и дѣйствующихъ на рычагъ *l*, когда она достигаетъ низшаго и высшаго предѣла своего движенія.

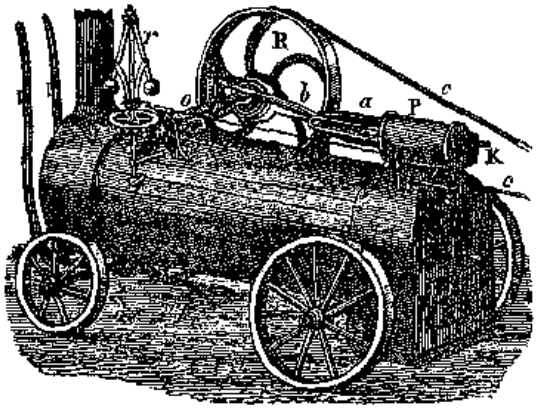
Паровой коперъ есть ни что иное какъ паровой молотъ, примѣненный къ вбиванію свай при постройкахъ. Въ такомъ случаѣ весь приборъ придѣлывается къ самой сваи такъ, что и онъ опускается вмѣстѣ съ нею. Труба, доставляющая паръ, устроена такимъ-образомъ, что можетъ слѣдовать за общимъ пониженіемъ машины Выигрышъ по времени и въ деньгахъ, при употребленіи этой машины, громаденъ. При постройкѣ одного дока въ Девенпортѣ, въ Англіи, выиграли, вслѣдствіе употребленія этихъ машинъ, два года времени и 1,250,000 франковъ. Въ 10 часовъ вбивали 32 сваи на глубину отъ 9^{m} до 12^{m}. Приборъ давалъ до 60, 70 и даже 80 ударовъ въ минуту. Сваи длиною отъ 5 до 6 метровъ вбивались иногда однимъ ударомъ, и притомъ головка сваи оставалась такъ цѣла, что не требовалось скрѣплять ее желѣзными обручами.

Локомобили.—Съ нѣкотораго времени начали строить машины на колесахъ, которыя можно свободно перевозить въ мѣстности, гдѣ нуждаются въ нѣкоторомъ запасѣ силъ, какъ на прим. при гидравлическихъ и другихъ постройкахъ. Подобныя машины называются локомобилями и въ послѣднее время входятъ въ большое употребленіе при полевыхъ работахъ, какъ напримѣръ при молотьбѣ хлѣба.

Фиг. 198-я изображаетъ локомобиль. *P* цилиндръ. Стержень пор-

шня, направляемый въ движеніе пазомъ *a*, дѣйствуетъ чрезъ посредство шатуна *b* на кривошипъ оси *o*. На эту ось надѣто большое колесо *R*, плотно обхватываемое безконечнымъ ремнемъ *c c*, который предназначенъ для передачи движенія, куда слѣдуетъ. *r* центробѣжный уравнитель, управляющій движеніемъ ключа *K*. Пары получаются изъ цилиндрическаго паровика, находящагося подъ всѣмъ механизмомъ Устройство такого паровика будетъ изложено при описаніи паровозовъ.

фиг. 198.



311 Машины съ соединенными парами.—Теплота, освобождаемая парами при сгущеніи ихъ въ холодильникахъ машинъ съ низкимъ давленіемъ, совершенно теряется, за исключеніемъ незначительнаго количества ея, возвращающагося съ питательною водою обратно въ паровикъ. Старались употребить съ пользою теряющуюся теплоту, заставляя ее обращать пары въ жидкости, которыя гораздо летучѣе воды, какъ наприм. эѳиръ, хлороформъ, сѣрнистый углеродъ. Дютрамблѐ (Dutremblеy) придумалъ для достиженія этой цѣли слѣдующій приборъ: пары, выходя изъ цилиндра, проходятъ въ холодильникъ, закрытый со всѣхъ сторонъ и пересѣкаемый вертикально большимъ числомъ мѣдныхъ плющенныхъ трубъ, расположенныхъ весьма близко одна къ другой Нижняя часть этихъ трубъ находится въ сообщеніи съ сосудомъ, помѣщающимся подъ холодильникомъ и наполненномъ эѳиромъ. Эѳиръ находится до извѣстной высоты въ этихъ трубахъ, верхній конецъ которыхъ сообщается съ резервуаромъ. Изъ этого и состоитъ приборъ для образованія паровъ. Пары, проходя вокругъ трубъ, охлаждаются, а эѳиръ начинаетъ испаряться и переходитъ въ верхній резервуаръ. Оттуда пары эти переходятъ въ цилиндръ подобный тому, въ которомъ дѣйствуютъ водяные пары, но нѣсколько болѣе его, и тамъ оказываетъ давленіе на поршень. Поршень этотъ дѣйствуетъ на ось машины, такъ, что такимъ-образомъ къ работѣ водяныхъ паровъ присоединяется и работа паровъ эѳира. Когда эѳирные пары наполнили цилиндръ, они переходятъ въ

систему трубъ, подобную только-что описанной и окруженную струею холодной воды. Тамъ пары охлаждаются и, посредствомъ нагнетательнаго насоса, приводятся обратно въ нижній резервуаръ прибора. Что же касается до паровъ, сгущающихся вокругъ прибора, образующаго пары, то они возвращаются посредствомъ насоса въ паровикъ, сберегая такимъ-образомъ теплородъ, не употребленный для обращенія въ пары эѳира

Подобный приборъ въ 70 силъ былъ устроенъ Дютрамблѐ на пароходѣ. Изъ отчета напечатаннаго инженеровъ Монтэ (Monlet), по поводу испытанія этого парохода, явствуетъ, что сбереженіе въ топливѣ, при одновременномъ дѣйствіи на машину обоихъ паровъ, равняется почти 70% всего количества, употребляемаго при дѣйствіи однихъ водяныхъ паровъ въ обоихъ цилиндрахъ.

Опасенія на счетъ воспламенимости эѳира разсѣваются, если принять во вниманіе отчетливую отдѣлку всѣхъ соединеній, доведенную до такой степени совершенства, что даже ни малѣйшій запахъ не распространяется при дѣйствіи машины. Кстому же, уже продолжительная практика доказываетъ, что для неподвижныхъ машинъ эѳиръ не представляетъ опасности, если соблюдать приличныя предосторожности. Въ Лионѣ подобная машина въ 50 силъ дѣйствуетъ уже восемь лѣтъ, и до-сихъ-поръ не случалось ни одного несчастія. Кстому же Дютрамблѐ говоритъ, что хлороформъ, который не горитъ, можетъ быть употребляемъ съ такимъ же успѣхомъ.

Подобная машина съ хлороформомъ въ 20 силъ была построена Лафономъ (Lafont) и употреблялась съ большимъ успѣхомъ при работахъ въ гавани Лоріана (Lorient). Такая же машина, но въ бо́льшее число силъ, была устроена на пароходѣ «Галилей», но результаты произведенныхъ надъ нею опытовъ еще не извѣстны. Итакъ машины съ соединенными парами перешли совершенно въ практику. Этого нельзя сказать о слѣдующихъ системахъ; онѣ еще не одобрены опытомъ, но тѣмъ не менѣе достойны вниманія.

312. Машины съ разрѣженнымъ воздухомъ. — Уже съ давнихъ поръ мечтали о томъ, какъ замѣнить силу упругости паровъ упругостью, сообщаемою теплотою воздуху. При этомъ замѣненіи, главнымъ образомъ надѣялись сохранить огромное количество теплорода, которое переходитъ въ скрытое состояніе при образованіи паровъ. Монгольфьѐ первый съ пользою употребилъ упругость нагрѣтаго воздуха. Ніепсъ (I Niepce) послѣ того пытался дѣлать опыты по этому поводу. Наконецъ Эриксонъ (Ericsson) изобрѣлъ въ Америкѣ машину

съ нагрѣтымъ воздухомъ, предназначенную для пароходовъ; въ ней теплота проистекаетъ отъ металлическихъ ситъ сильно нагрѣтыхъ, и между которыми протекаетъ нагрѣтый воздухъ. Поднявъ поршень, воздухъ проходитъ обратно чрезъ сита и уступаетъ имъ часть теплорода, которую онъ еще сохранилъ. Мы считаемъ излишнимъ сообщать болѣе подробностей объ этомъ приборѣ. Мы также только упомянемъ о машинахъ основанныхъ на употребленіи жидкой углекислоты и нѣкоторыхъ другихъ газовъ, какъ напримѣръ водорода, котораго уничтожаютъ по выходѣ изъ-подъ поршня, зажигая его, или газообразнаго амміака, котораго уничтожаютъ растворяя его въ водѣ.

Машины съ перегрѣтымъ паромъ.—Вмѣсто того чтобы, при каждомъ ударѣ поршня, впускать свѣжіе пары, придумали подогрѣвать пары, уже исполнившіе свое назначеніе, и такимъ-образомъ, увеличивъ ихъ упругость, проводить обратно въ цилиндръ. Этимъ способомъ сберегается количество теплорода, потребное для образованія новаго количества паровъ Сегенъ (Séguin) (старшій) занимался этимъ вопросомъ уже съ 1838, а Сименсъ (Siemens) построилъ приборъ въ 40 силъ, въ которомъ паръ, выдвинувъ поршень, переходилъ въ два цилиндра, нагрѣваемые одною топкою, откуда, получивъ утраченное количество теплорода, снова поступалъ въ цилиндръ. Ясно, что здѣсь дѣйствуютъ все тѣ же пары и что слѣдуетъ пополнять количество паровъ только на столько, на сколько ихъ пропадаетъ, такъ что, по мнѣнію изобрѣтателя, на нее будетъ расходоваться только $\frac{1}{6}$ топлива, необходимаго для обыкновенной машины въ столько же силъ.

II. Паровые котлы.

313. Паровая машина состоитъ изъ двухъ главныхъ частей. Одна изъ нихъ разсмотрѣна нами въ статьѣ о неподвижныхъ машинахъ, она состоитъ изъ приборовъ, приводимыхъ въ движеніе паромъ; другая производитъ пары. Она состоитъ изъ паровика, или производителя пара, съ принадлежащими къ нему приборами, и топки служащей для нагрѣванія воды до кипѣнія. Часть поверхности паровика, на которую непосредственно дѣйствуетъ пламя или горячіе газы, освобождающіеся изъ онаго, называется *поверхностью нагрѣванія.* Паровики дѣлаются изъ мѣди, чугуна и листоваго желѣза; послѣднее наиболѣе употребительно. Нынѣ чугунъ совершенно оставленъ, а входятъ въ

употребленіе паровика изъ литой стали, которые гораздо прочнѣе паровиковъ желѣзныхъ. На парижской всемірной выставкѣ былъ паровикъ литой стали 5-ти метровъ длины и 1-го въ діаметрѣ, со стѣнками въ 6 миллиметровъ толщиною; онъ выдерживалъ давленіе 15-ти атмосферъ, тогда какъ паровикъ изъ листоваго желѣза подобныхъ же размѣровъ, для того чтобы выдержать такое давленіе, долженъ бы имѣть стѣнки въ 13 миллиметровъ.

Паровики дѣлаются различныхъ формъ. Въ машинахъ Уата съ низкимъ давленіемъ, имъ довольно часто придаютъ видъ полушарія или горизонтальнаго полуцилиндра съ вогнутымъ дномъ. Форма самая удобная, цилиндръ оканчивающійся съ обоихъ сторонъ полушаріями; она даетъ наибольшую вмѣстительность, и потому давленіе пара не производитъ въ ней выпуклостей, слѣдовательно и разрывовъ. Здѣсь давленіе дѣйствуетъ посредствомъ растяженія, а извѣстно, что самое сильное сопротивленіе тѣла противоставляютъ растяженію. Въ механикѣ извѣстно, что цилиндрическій котелъ, чтобы выдержать давленіе P атмосферъ, долженъ имѣть толщину стѣнъ, выражаемую формулою $e=\frac{P\,R}{t}$, гдѣ t коэффиціентъ сопротивленія матеріала, R полудіаметръ, и P давленіе на 1 квадр. сантиметръ, выраженное въ килограммахъ. Котламъ даютъ такую толщину стѣнъ, чтобы они могли въ ненагрѣтомъ состояніи выдержать давленіе въ 10 разъ бо́льшее противъ того, какое имъ придется выдерживать со стороны пара. Ихъ испытываютъ посредствомъ гидравлическаго пресса. Указъ французскаго правительства 1828 г. предписываетъ давать котламъ изъ листоваго желѣза, толщину не меньшую выраженной слѣдующею формулою:

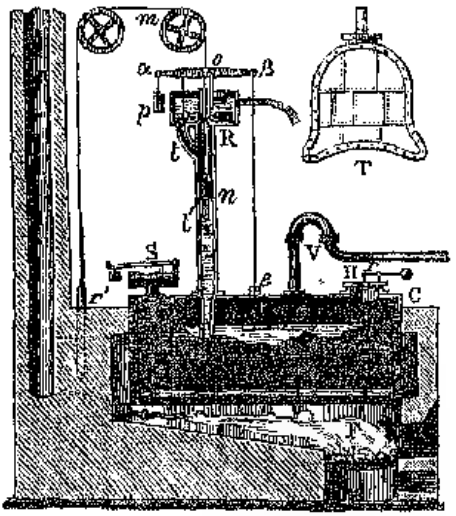
$$e=\frac{1}{10,000}\,[36\,R\,(H-1)+3000],$$

гдѣ H выражаетъ давленіе пара въ атмосферахъ; величина полученная изъ этой формулы изобразитъ толщину стѣнъ котла, при которой онъ можетъ выдержать давленіе пара въ 10 разъ бо́льшее требуемаго, съ прибавленіемъ къ толщинѣ еще 3 миллиметровъ. Въ практикѣ стѣны дѣлаются обыкновенно еще толще.

315. Котлы гробовидные.—Фигура 199-я представляетъ котелъ съ низкимъ давленіемъ, извѣстный подъ именемъ гробовиднаго. Чертежъ T изображаетъ одну изъ его оконечностей, $C\,c$ обозначаетъ его продольный видъ, V труба, посредствомъ которой паръ проводится въ паровой цилиндръ машины; s обозначаетъ предохранитель

ный приборъ, который мы объяснимъ впослѣдствіи. *H* круглое отверзтіе *для входа человѣка*; оно закрывается крышкой, подобной крышкѣ Папинова котла, описаннаго въ 259; отверзтіе это предназначено для входа рабочаго при очищеніи котла.

Фиг. 199



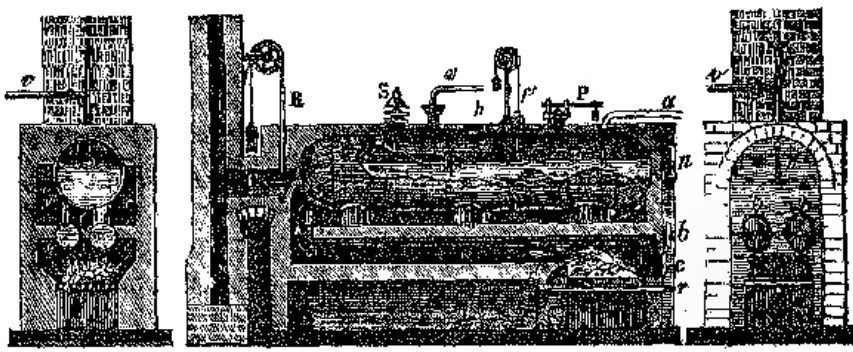
Клапанъ, *r*, открывающійся вовнутрь, устроенъ для впуска атмосферваго воздуха, по охлажденіи котла; безъ этой предосторожности, отъ давленія атмосфернаго воздуха, котелъ могъ бы погнуться послѣ охлажденія паровъ. Горѣніе въ горнѣ *F* регулируется самымъ паромъ, посредствомъ остроумнаго расположенія: заслонка *r'* поддерживается шнуромъ *m*, сгибающимъ два неподвижныхъ блока, и прикрѣпленнымъ къ поплавку *n*, который плаваетъ на поверхности воды въ трубкѣ *t'*. Эта трубка погружается въ воду котла, а тяжесть содержащагося въ ней столба воды, представляетъ собою избытокъ напряженія пара надъ давленіемъ воздуха. Длина шнура *m* такова, что заслонка оставляетъ свободный проходъ для дыма, когда паръ имѣетъ требуемое напряженіе; но какъ-скоро напряженіе увеличивается, столбъ воды *t'* подымается, а вмѣстѣ съ нимъ и поплавокъ; заслонка *r'*, опускаясь, закрываетъ отчасти дымовой проходъ, чѣмъ уменьшается тяга, а слѣдовательно и нагрѣваніе.

Питаніе котла Возобновлять воду въ котлѣ можно посредствомъ нагнетательнаго насоса, какъ мы говорили. Но при котлахъ съ низкимъ давленіемъ, употребляютъ, чаще другое устройство. Часть воды, извлеченная изъ холодильника всасывающимъ насосомъ, вгоняется въ резервуаръ *R*, откуда она проходитъ въ котелъ посредствомъ трубокъ *t* и *t'* Трубка *t* закрывается въ верхней своей части клапаномъ, придавленнымъ тяжестью *p*, укрѣпленною на оконечности рычага $\alpha\beta$, коего точка опоры находится въ *o*. Поплавокъ *f* дѣйствуетъ на оконечность этого рычага β посредствомъ металлической нити *b*, проходящей черезъ коробку *e*, наполненную паклей. При пониженіи въ котлѣ уровня

воды, поплавокъ опускается, клапанъ открывается и вода протекаетъ черезъ трубку *t* до-тѣхъ-поръ, пока уровень воды не повысится на высоту, при которой клапанъ закрывается.

315. Паровые котлы, въ которыхъ пары доходятъ до высокаго давленія, обыкновенно дѣлаются цилиндрической формы, и снабжаются *кипятильниками*. Фиг. 200-я представляетъ въ разрѣзѣ паровой котелъ съ кипятильниками и топкою; фиг. 201-я представляетъ

фиг. 202. фиг. 200. фиг. 201.



переднюю часть котла, а фиг. 202 поперечный разрѣзъ; одинакія буквы означаютъ во всѣхъ трехъ чертежахъ тѣ же части. *v v v* означаютъ трубу, отводящую паръ; трубка *a* пропускаетъ воду изъ питательнаго насоса; она проводится до дна котла для того, чтобы избѣжать охлажденія пара, что могло бы имѣть мѣсто, еслибы вода протекла чрезъ часть котла, наполненную паромъ *b b* фиг. 201) и *B b* (фиг. 200) означаютъ кипятильники. Они состоятъ изъ двухъ цилиндровъ, гораздо мѣньшаго діаметра, нежели діаметръ котла въ передней части самозапирающимися вьюшками. Паръ, образовавшійся въ кипятильникахъ, сообщается въ паровой котелъ посредствомъ трубъ *P, P, P*, чрезъ которые паръ поднимается въ котлѣ.

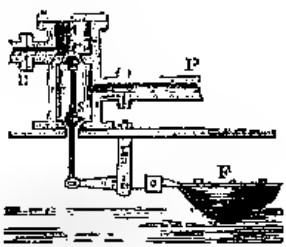
Паровой котелъ вдѣлывается въ кирпичную печь; кипятильники проходятъ чрезъ переднюю стѣнку (фиг. 201), такъ-что ихъ легко чистить, отворивши вьюшки. R означаетъ заслонку, уравнивающую тягу въ горнѣ. Топливо кидаютъ на рѣшетку очага чрезъ дверцы *c c*, которыя затѣмъ закрываются. Пламя нагрѣваетъ сначала кипятильники снизу, потомъ проходитъ въ *B* и обращается въ пространствѣ *o* (фиг. 202), ограниченное съ боковъ кирпичными стѣнками между трубками *P, P, P* (фиг. 200), а снизу горизонтальною перегородкою, находящеюся на одной высотѣ съ кипятильниками. Продольный раз-

рѣзъ перегородки показанъ на фиг. 200-й, а поперечный на фиг. 202-й. Затѣмъ, пламя входитъ въ проходъ *c* и дымовую трубу черезъ пространство *x x*, гдѣ нагрѣваетъ главный цилиндръ пароваго котла. Уровень воды долженъ быть постоянно выше поверхности нагрѣванія, т.-е выше верхней части пространствъ *x x*. Маленькая заслонка *e*, двигающаяся посредствомъ прута *r*, позволяетъ пропускать воздухъ чрезъ щель *e*, проходящую во всю длину очага, что дѣлается съ цѣлью ослабить огонь, потому-что тогда воздухъ не проходитъ чрезъ рѣшетку очага.

Такъ-какъ кипятильники имѣютъ діаметръ мѐньшій, нежели главный цилиндръ пароваго котла, то и стѣнки ихъ могутъ быть тоньше, сообразно обратному отношенію поперечниковъ; но обыкновенно стѣнки кипятильниковъ дѣлаютъ толще чѣмъ слѣдовало бы по сему разсчету, потому-что, находясь въ непосредственномъ соприкосновеніи съ огнемъ, кипятильники скорѣе портятся, нежели паровой котелъ. По этой же причинѣ кипятильники устроиваютъ такъ, чтобы легко было ихъ вынуть и перемѣнить, не разбирая печи. Что касается до діаметра пароваго котла, то его дѣлаютъ обыкновенно не болѣе 1-го метра; если нуженъ бо́льшій объемъ, то котелъ увеличиваютъ въ длинѣ или же употребляютъ нѣсколько котловъ, изъ которыхъ каждый въ 1 метръ діаметра. Цилиндрическую форму даютъ и котламъ низкаго давленія, но бо́льшею частью устраиваютъ ихъ безъ кипятильниковъ. Въ пароходахъ употребляютъ котлы съ внутренней топкою. Объ нихъ мы будемъ говорить впослѣдствіи

Питаніе. Паровики съ высокимъ давленіемъ, не могутъ питаться посредствомъ приспособленія водянаго столба (313). Для нихъ употребляютъ нагнетательные насосы, о которыхъ мы уже говорили. Такъ-какъ паровикъ расходуетъ мѐньшее количество воды, нежели насосъ можетъ ему доставить, то этотъ послѣдній всегда устраиваютъ такъ, чтобы онъ могъ быть во произволу отдѣленъ отъ рычаговъ, приводящихъ его въ дѣйствіе. Около 1760 года, Бриндлей изобрѣлъ приборъ, посредствомъ котораго питаніе уравнивается само собою. Онъ изображенъ на фиг. 203-й. Поплавокъ *F* плаваетъ на поверхности воды въ котлѣ, слѣдуя за повышеніемъ и пониженіемъ ея уровня. Посредствомъ рычага находятся въ зависимости отъ него два клапана *r* и *s*, которые открываются снаружи внутрь, въ сосудъ, получающій воду изъ насоса, трубкою

фиг. 203.



P. Оба клапана неподвижно прикрѣплены къ стержню сочлененному съ рычагомъ поплавка *F*. Чертежъ представляетъ положеніе прибора, при которомъ вода входитъ въ котелъ; но какъ только уровень ея превзойдетъ требуемую высоту, то поплавокъ, подымаясь, опускаетъ систему клапановъ внизъ, клапанъ *s* закрывается, а *r* открывается, и вода, накачиваемая насосомъ, вмѣсто-того чтобы идти въ котелъ, вытекаетъ черезъ трубку *B*.

316. Предохранительные снаряды.— При паровикахъ устраиваются различные предохранительные приборы, предостерегающие ихъ отъ разрыва, въ случаѣ слишкомъ сильнаго напряженія пара. Таковы: предохранительные клапаны, манометры и указатели уровня.

Предохранительные клапаны. Для ограниченія давленія пара въ котлѣ, въ верхней его части оставляютъ отверстіе, закрывающееся клапаномъ нагруженнымъ такою тяжестью, чтобы онъ открывался только тогда, когда паръ достигнетъ извѣстнаго напряженія. Если означить чрезъ *s*, выраженную въ центиметрахъ, площадь отверстія клапана, чрезъ *h* давленіе, выраженное въ центиметрахъ ртутнаго столба при 0°, котораго паръ долженъ достигнуть для того, чтобы клапанъ поднялся, то напряженіе пара будетъ равно тяжести, выраженной чрезъ $s\,h \times 13,6$. Тяжесть клапана должна, для того чтобы уравновѣшивать давленіе пара, равняться $s\,(h-p)\,13,6$, гдѣ *P* означаетъ давленіе атмосферы. Давленіе это должно быть вычтено изъ *h*, потому-что уравновѣшиваетъ часть, *P*, давленія пара.

Величина *s* зависитъ отъ пространства *S* поверхности нагреванія, ее выражаютъ посредствомъ формулы:

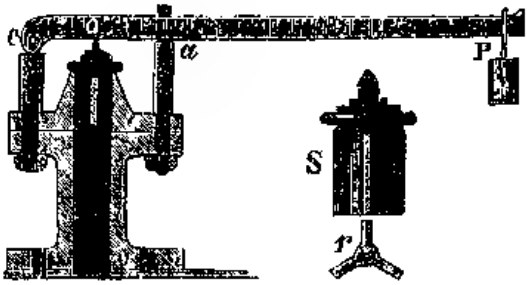
$$d = 2,6\sqrt{\frac{S}{H-0,412}},$$

гдѣ *d* есть діаметръ клапана, предположеннаго круглымъ, а *H* крайнее давленіе пара въ атмосферахъ. Опыты показали, что клапанъ, имѣющій данные размѣры, поднимаясь выпускаетъ весь паръ при самомъ сильномъ огнѣ. Для большей безопасности обыкновенно употребляютъ два такихъ клапана.

Предохранительный клапанъ изобрѣтенъ Папиномъ. Онъ представленъ на фиг. 204. Клапанъ закрываетъ отверстіе трубки, находящейся въ верхней части паровика. Сверху онъ оканчивается остріемъ 0, которое поддерживаетъ горизонтальный рычагъ *c P*, на концѣ котораго привѣшивается тяжесть, и который поправляется стойкою *a* Кла-

папъ изображенъ отдѣльно въ *s*. Онъ состоитъ изъ круглой плоскости, которая плотно пристаетъ къ окраинѣ отверстія, обыкновенно очень узкой (въ самыхъ большихъ клапанахъ не болѣе, какъ въ 2 миллиметра). Три крыла, находящіеся подъ плоскою частью клапана и изображенные въ разрѣзѣ въ *r*, направляютъ его движеніе въ трубкѣ, которую клапанъ закрываетъ.

Фиг. 204.

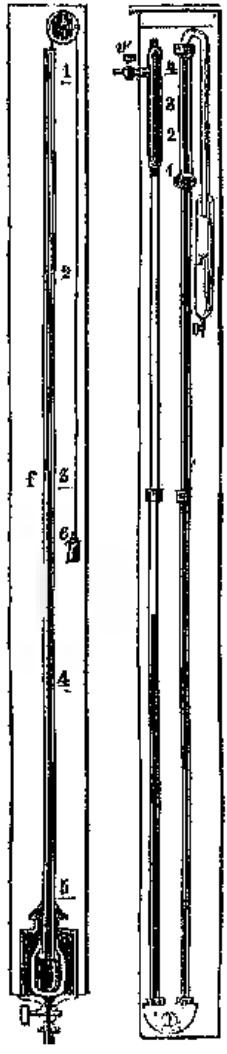


Плавкія пластинки. Давленіе пара можно еще уменьшать чрезъ ограниченіе его температуры. Этого достигаютъ, закрывая отверстіе въ верхней части паровика пластинкою, сдѣланною изъ сплава свинца, висмута и олова, плавящагося при температурѣ, выше которой не хотятъ допускать паръ; послѣдній выходитъ чрезъ образовавшееся отверстіе. Плавкія пластинки укрѣпляются помощью желѣзныхъ колецъ къ краямъ отверстія посредствомъ болтовъ и защищается, по причинѣ значительной хрупкости, металлическою рѣшеткою. На одномъ концѣ трубки *s* (фиг. 199) представлена плавкая пластинка, на другомъ предохранительный клапанъ. Нѣкогда правительство во Франціи предписывало непремѣнное употребленіе плавкихъ пластинокъ, теперь же онѣ совершенно оставлены. Онѣ представляютъ то большое неудобство, что машина останавливается по ихъ расплавленіи, что̀ можетъ причинить много несчастій, особенно на пароходахъ, которые, лишенные своего двигателя, могутъ быть увлечены теченіемъ и разбиты о берегъ.

317. Манометры.— Сила давленія пара указывается манометрами различныхъ формъ. Въ паровыхъ котлахъ съ низкимъ давленіемъ, часто употребляютъ трубку въ видѣ буквы *U*, которой одна оконечность сообщается съ паромъ, а другая съ воздухомъ. Эта трубка наполняется ртутью, и различіе уровней въ ея 2-хъ вѣтвяхъ показываетъ избытокъ давленія пара надъ давленіемъ внѣшняго воздуха. Такъ-какъ эта трубка дѣлается обыкновенно желѣзная, то, во внѣшней вѣтви ея, на ртути помѣщаютъ поплавокъ, снабженный негибкимъ отержнемъ, верхняя оконечность котораго показываетъ колебаніе уровня. Въ паровыхъ котлахъ съ высокимъ давленіемъ употребляютъ чаще манометры съ сжатымъ воздухомъ, сообщающіеся съ па-

рами посредствомъ металлической трубки. Но этого рода приборы не долго даютъ вѣрныя указанія, потому-что горячая ртуть поглощаетъ часть кислорода воздуха, въ нихъ находящагося. Кромѣ-того, образовавшаяся окись осаждается на стѣнкахъ трубки и препятствуетъ видѣть уровень ртути. Это неудобство можно бы замѣнить наполняя инструментъ не воздухомъ, а азотомъ. Случается также, что во время быстрыхъ уменьшеній давленія, часть газа выходитъ изъ трубки, и тогда показанія дѣлаются неправильными. Кромѣ-того, манометры съ сжатымъ воздухомъ подчинены вліянію температуры, которая, по близости пароваго котла, можетъ значительно измѣняться.

Фиг. 205. Фиг. 206.



Манометры открытые. Употребленіе этихъ инструментовъ предписано во Франціи правительствомъ. Они даютъ вѣрныя указанія. Самый несложный изъ нихъ (фиг. 205) состоитъ изъ трубочки, опущенной въ чашечку со ртутью. Чашечка эта устроивается въ сосудѣ плотно закрытомъ и сообщающемся съ котломъ, посредствомъ крана въ нижней его части. Давленіе пара подымаетъ ртуть въ трубкѣ на высоту, равную столько разъ взятымъ 760 миллиметрамъ, сколькимъ атмосферамъ равняется упругость пара. Такъ-какъ трубка довольно длинна и наблюдать за уровнемъ ртути затруднительно, то обыкновенно устроиваютъ поплавокъ, къ которому привязывается нитка, проходящая чрезъ неподвижный блокъ и имѣющая на другомъ концѣ гирю *e*. Эта гиря слѣдуетъ за измѣненіями уровня ртути и такимъ-образомъ показываетъ силу пара на скалѣ, возлѣ которой двигается. При такомъ устройствѣ трубка можетъ быть желѣзная. Она должна всегда быть такого діаметра, чтобы движенія поплавка были свободны. И потому такіе манометры требуютъ большаго количества ртути.

Для измѣренія давленія превосходящаго 5 атмосферъ, употребляютъ обыкновенно открытый манометръ, изобрѣтенный Шоссенô-старшимъ

Haussenot (фиг. 206). Желѣзная трубка, согнутая наподобіе U, наполняется ртутью. Она зарывается въ землю такимъ-образомъ, чтобы кранъ фаянсоваго сосуда i находился на одной высотѣ съ котломъ. Паръ нажимая воду, наполняющую сосудъ v, заставляетъ подыматься ртуть въ толстой стеклянной трубкѣ, придѣланной на противоположной сторонѣ, и раздѣленной на градусы. Здѣсь труднѣе наблюдать за измѣненіями уровня, потому-что діаметръ стеклянной трубки болѣе діаметра желѣзной. Верхняя часть этой, раздѣленной на градусы, трубки сообщается посредствомъ маленькой трубочки съ сосудомъ r, который служитъ для удержанія ртути, выброшенной изъ снаряда при внезапномъ увеличеніи давленія пара.

Термоманометръ. Вмѣсто того чтобы непосредственно измѣрять давленіе пара, можно наблюдать его температуру и отсюда, съ помощью таблицъ, опредѣлять его давленіе (279). Температура узнается посредствомъ термометра, котораго дѣленіе доходитъ до 200, заключеннаго въ желѣзной трубкѣ, закрытой снизу и придѣланной другимъ концомъ къ паровику. Пустое пространство вокругъ термометра наполняется мѣдными опилками. Градусы на этомъ термометрѣ показываютъ давленія пара, соотвѣтствующія уровню термометрической жидкости. Устроенный такимъ-образомъ инструментъ, называется термоманометромъ.

Манометръ Бурдона. Металлическій манометръ Бурдона есть удобнѣйшій снарядъ для измѣренія давленія; онъ употребляется преимущественно на пароходахъ и на локомотивахъ желѣзныхъ дорогъ, и по своему удобству и прочности распространяется всё болѣе-и-болѣе. Но нужно повѣрять градусы этого манометра, потому-что постоянное давленіе и значительныя измѣненія температуры могутъ имѣть большое вліяніе на расположеніе частицъ кривой трубки.

318. Указатели уровня.— Необходимо, чтобы уровень воды въ паровомъ котлѣ не опускался ниже предѣла поверхности нагрѣванія; мы увидимъ далѣе, что подобное пониженіе составляетъ одну изъ главныхъ причинъ взрывовъ. Вслѣдствіе этого много трудились надъ улучшеніемъ питательныхъ приборовъ и указателей высоты уровня. Сначала употребляли двѣ трубки съ кранами, называемыя *указательными кранами.* Они помѣщались очень близко къ уровню воды, и притомъ, одна выше, а другая ниже его. При нормальномъ положеніи уровня, первая должна дать паръ при открытіи крана, вторая воду. Трубки эти изображены на фиг. 182-й.

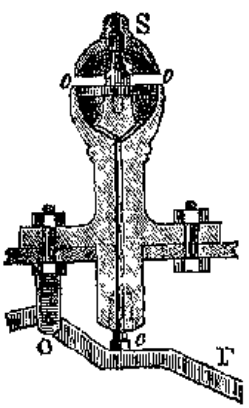
Трубка для показанія уровня. Обыкновенно паровики снабжаются трубкой для показанія уровня n (фиг. 196 и 197). Этотъ инструментъ

состоитъ изъ двухъ металлическихъ трубокъ, соединенныхъ внѣ печи вертикальной стеклянной трубкой и сообщающихся одна съ паромъ, другая съ водою котла. Уровень въ стеклянной трубкѣ будетъ всегда на одной высотѣ съ уровнемъ въ паровикѣ, по закону сообщающихся сосудовъ. На концахъ стеклянной трубки устроиваются краны; они постоянно открыты, но могутъ быть закрыты, еслибы стеклянная трубка случайно разбилась.

Поплавокъ съ указателемъ Этотъ приборъ показанъ въ f' на фиг. 200. Онъ состоитъ изъ поплавка, слѣдующаго за уровнемъ воды. Къ нему привязывается гирька посредствомъ проволоки, проходящей чрезъ ящикъ съ паклей и огибающей неподвижный блокъ. Уровень указывается положеніемъ гирьки, или стрѣлкой укрѣпленной на оси блока. Шоссено-старшій помѣстилъ поплавокъ на оконечности рычага, какъ показано въ f

Поплавокъ съ сигнальнымъ свисткомъ Всѣ описанные нами указатели уровня, требуютъ постояннаго наблюденія, и недостатокъ вниманія можетъ сдѣлать ихъ совершенно безполезными. Сорель (Sorel) изобрѣлъ способъ, посредствомъ котораго машина сама напоминаетъ о понижении уровня. Поплавокъ f (фиг. 200) прикрѣпляется къ оконечности рычага перваго рода, къ другой оконечности котораго придѣлана гиря. Точка опоры этого рычага въ 0 (фиг. 207). Металлическій конусъ c плотно закрываетъ коническое отверстіе. Когда поплавокъ, прикрѣпленный къ рычагу въ точкѣ F, опускается, вмѣстѣ съ уровнемъ воды, ниже должной высоты, то паръ, выходя чрезъ отверстіе, издаетъ съ помощью свистка S острый и сильный звукъ. Свистокъ состоитъ изъ пустаго въ серединѣ полушарія съ острыми краями, о которые ударяется паръ, выходящій изъ круговой щели 00. Весь приборъ представленъ въ f S (фиг 200).

фиг. 207.



Въ машинахъ съ низкимъ давленіемъ сигнальный свистокъ прежде помѣщали при устьи довольно широкой вертикальной трубки, погруженной въ воду паровика до черты, ниже которой вода не должна опускаться Трубкѣ этой давали такую высоту, чтобы поднимающійся въ ней столбъ воды могъ уравновѣшиваться давленіемъ пара. Какъ только уровень воды опускался ниже нижней оконечности трубки, то вода, заключающаяся въ ней, выли-

валась въ котелъ и паръ, освобождаясь, приводилъ свистокъ въ дѣйствіе.

318. Взрывы паровыхъ котловъ.—Паровыя машины, хотя всё рѣже-и-рѣже, однако и нынѣ причиняютъ изрѣдко несчастные случаи. Паровики взрываетъ съ громомъ и обломки, иногда очень тяжеловѣсные, разбрасываетъ на огромныя разстоянія. Взрывы происходятъ отъ неисправности предохранительныхъ приборовъ; отъ ветхости паровыхъ котловъ, стѣны которыхъ отъ употребленія становятся тоньше; отъ ѣдкаго свойства воды (*), или отъ дѣйствія огня. Такіе случаи предотвращаются подробнымъ осмотромъ паровиковъ отъ времени до времени. Иногда взрывы происходятъ отъ неблагоразумія рабочихъ, которые, чтобы ускорить ходъ машины, отягощаютъ клапаны и даже, что почти невѣроятно, укрѣпляютъ ихъ неподвижно. Тогда давленіе пара можетъ превзойти степень, которую паровикъ можетъ выдержать, и причинить взрывъ тѣмъ сильнѣйшій, что въ моментъ его, вода, уже неудерживаемая прежнимъ огромнымъ давленіемъ, дастъ еще новые пары, давленіе которыхъ присоединяется къ прежнему давленію. Въ этомъ случаѣ бываютъ ужасные взрывы—они разносятъ далеко и котелъ, и печь, и нерѣдко производятъ множество жертвъ. Для избѣжанія этихъ случаевъ, предохранительные клапаны защищаютъ отъ рабочихъ рѣшетками. Есть еще случаи взрывовъ, которые долго оставались необъясненными. Опишемъ сначала обстоятельства, которыя ихъ часто сопровождаютъ. Такъ напр., замѣчали нѣсколько разъ предъ взрывомъ, что ходъ машины ослабѣвалъ; также, въ-особенности въ пароходахъ, случалось, что взрывъ происходилъ, когда по остановкѣ машины ее снова пускали въ ходъ, т. е., когда паръ, собравшійся въ паровикѣ, терялъ часть своей упругости при переходѣ части его въ паровой цилиндръ. Открытіе предохранительныхъ клапановъ также нерѣдко непосредственно предшествуетъ взрыву. Теперь укажемъ на причины, объясняющія эти взрывы и на средства избѣгнуть ихъ.

Пониженіе уровня. Пониженіе уровня воды въ котлахъ, ниже предѣла поверхности нагрѣванія, очень опасно Часть поверхности, не смачиваемая водою, можетъ раскалиться до-красна, что значительно уменьшаетъ силу сопротивленія желѣза по линіи уровня, вслѣдствіе быстраго перехода отъ сильно раскаленной къ сравнительно мало на-

*) Въ рудникахъ, гдѣ часто подъ рукою только и есть ѣдкая вода, свойство ея уничтожается прибавленіемъ мѣла, очищеннаго отъ песку, или кусковъ цинка, на которые вода предпочтительно дѣйствуетъ.

грѣтой части котла, отъ чего происходитъ неправильное расположеніе частицъ, ослабляющее связь между ними. Это обстоятельство объясняетъ причину, почему разрывъ происходитъ по горизонтальной линіи уровня, несмотря на равличную толщину стѣнокъ по этому направленію. Для того чтобы произвести взрывъ, стоитъ только уменьшить давленіе, напр. открывши предохранительный клапанъ; вода начнетъ сильно кипѣть, пѣниться, брызгать на разгоряченныя стѣнки и въ массу чрезмѣрно нагрѣтаго пара. Тогда образуется такое количество пара, котораго стѣнки уже не въ силахъ выдержать, особенно раскаленныя части ихъ, которыя сохраняютъ только $^1/_6$ своей силы сопротивленія въ холодномъ видѣ. Явленіе брызганія воды, при уменьшеніи давленія, указываетъ на то, что отверстія въ предохранительныхъ клапанахъ, не должны быть слишкомъ большія; потому-что быстрое уменьшеніе пара, при ихъ открытіи причинило бы слишкомъ сильное вспѣненіе и брызганіе воды, на собравшійся паръ и сухія стѣнки, что произвело бы огромное количество пара. Кромѣ-того быстрое измѣненіе давленія могло бы сильно потрясти паровикъ и вредить его прочности (*).

Накипи въ паровыхъ котлахъ. Столь опасное накаливаніе стѣнокъ котловъ, можетъ произойти, кромѣ пониженія уровня, и отъ другихъ причинъ. Вода, выкипая, осаждаетъ земляныя и соляныя части, растворенныя въ ней. Осадки эти получаютъ иногда значительную твердость, и пристаютъ къ стѣнкамъ такъ крѣпко, что отнять ихъ можно только при помощи рѣзца; въ-особенности въ котлахъ съ низкимъ давленіемъ, въ которыхъ испареніе происходитъ медленнѣе, накипи пріобрѣтаютъ подобную твердость, что онѣ задерживаютъ теплоту, и тѣмъ замедляютъ образованіе пара. Стѣнки паровика, отдѣленныя такимъ-образомъ отъ воды дурными проводниками, могутъ раскалиться и потерять часть своей цѣпкости, что уже довольно опасно. Если же при этомъ образуется щель въ кережженой корѣ, приставшей къ стѣнкамъ, и вода прошикнетъ до раскаленнаго металла, то произойдетъ внезапное испареніе, которое можетъ оторвать большіе куски приставшей массы; вода, прійдя въ соприкосновеніе съ обнажившеюся поверхностью, образуетъ такое количество пара, которое легко разор-

---

*) Еслибы по какому-нибудь случаю уровень опустился ниже поверхности нагрѣванія, то нужно закрыть заслонку и открыть дверцы очага, для того, чтобы замедлить горѣніе, но ни въ какомъ случаѣ не открывать предохранительныхъ клапановъ.

вать котелъ, стѣнки котораго чрезъ калѣніе уже потеряли часть своей силы сопротивленія.

Для избѣжанія этой причины взрыва, нужно почаще вычищать котлы; обыкновенно недѣли черезъ двѣ ихъ опоражниваютъ и выбираютъ приставшій осадокъ. Иногда нужно это дѣлать и чаще; что̀ зависитъ вообще отъ качества употребляемой воды.

Случай открылъ способъ предотвращать образованія накипи. Работники вздумали воспользоваться теплотою только-что опорожненнаго котла, чтобы спечь въ немъ картофель, но потомъ и забыли объ немъ. Когда впослѣдствіи нужно было опять опорожнить котелъ для новой прочистки, то увидѣли, что въ немъ не образовалось приставшихъ осадковъ Картофель совершенно разварился и крахмалъ, соединившись съ осадкомъ, не позволилъ ему окрѣпнуть.

Впослѣдствіи начали употреблять съ пользою глину, которая, распускаясь въ водѣ, также не позволяетъ приставать осадкамъ. Того же результата можно достигнуть, окрашивая воду красильнымъ деревомъ. Деламбръ предложилъ недавно употребленіе однохлористаго олова Достаточно килограмма этого вещества на кубич. метръ испаряемой воды, чтобы воспрепятствовать образованію осадка. Эта соль разлагается на основную нерастворимую и кислую растворимую соль, которая растворяетъ землистыя соли. При употребленіи этихъ средствъ для того, чтобы вычистить котелъ, нужно только открыть кранъ, устроенной внизу паровика, пока пары еще оказываютъ давленіе, и чрезъ него тотчасъ извергается съ силою родъ осадившейся грязи или тины.

Взрывы паровыхъ котловъ съ кипятильниками. Если трубки, соединяющія кипятильники съ котлами, узки, то можетъ случиться, что паръ вытонитъ изъ кипятильниковъ воду и не позволитъ ей туда возвратиться Тогда кипятильники, отчасти пустые, могутъ раскалиться до-красна; заключающаяся въ нихъ вода не прикасается къ стѣнкамъ и отдѣленіе пара происходитъ очень медленно (262). Въ моментъ, когда температура стѣнокъ понизится и вода къ нимъ прикоснется, образуется такое количество пара, которое можетъ разорвать котелъ. Подобные взрывы предупреждаютъ тѣмъ, что сообщаютъ паровые котлы съ кипятильниками посредствомъ широкихъ трубокъ.

Наконецъ случаются очень сильные взрывы, называемые гремучими, причины которыхъ долго были неизвѣстны. Донни (Донну) объясняетъ ихъ посредствомъ любопытныхъ явленій, изслѣдованныхъ

имъ и изложенныхъ нами выше (266). Мы видѣли, что вода лишенная воздуха, даже подъ вліяніемъ сильнаго жара, перестаетъ кипѣть; но достигнутъ извѣстной температуры, еще высшей, она вдругъ превращается въ паръ, и производитъ настоящій взрывъ. Продолжительное кипяченіе изгоняетъ воздухъ изъ воды, заключающейся въ котлѣ, питательный насосъ котораго перестаетъ дѣйствовать, напр. когда машина остановилась. Тогда, при пусканіи ея въ ходъ пары перестаютъ образовываться, машина дѣйствуетъ медленно, что побуждаетъ къ усиленію огня и наконецъ сильный взрывъ разноситъ котелъ на части. Поэтому, когда останавливаютъ машину на нѣкоторое время, питательный насосъ приводятъ въ дѣйствіе руками, или посредствомъ особой паровой машины, находящейся при главной. Воздуха заключающагося въ приводимой такимъ-образомъ водѣ, достаточно для того, чтобы предупредить подобнаго рода взрывъ (*).

219. Практическіе результаты. *Не вся теплота* производимая горѣніемъ угля идетъ въ дѣло; часть ея теряется даромъ. Газы, долженствующіе имѣть температуру отъ 200° до 400°, для того чтобы производить надлежащую тягу, вылетая въ трубку, уносятъ часть этой теплоты. Кромѣ-того, горѣніе не полно, и есть еще потери отъ лученепусканія и отъ поглощенія части теплоты стѣнками печи. Въ котлахъ съ кипятильниками горѣніе 1-го килограмма угля, при самомъ лучшемъ устройствѣ печи, испаряетъ только отъ 5 до 7 килограммовъ воды. Въ цилиндрическихъ котлахъ безъ кипятильниковъ можно этимъ количествомъ испарить отъ 8 до 9 кил. воды и то бросая топливо на рѣшетку понемногу и почти непрерывно. Между-тѣмъ изъ опытовъ извѣстно, что сгораніе 1-го килом. угля даетъ почти 7500 единицъ теплорода, которыя могли бы превратить въ паръ количество воды равное $\frac{7.500}{650} = 11,5$ кил., потому-что нужно 650 единицъ теплорода для превращенія въ паръ 1 кил. воды.

Мы видѣли (307), что дѣйствительная работа пара на поршень меньше вычисленной по теоріи. Кромѣ-того, часть пара охлаждается о сводъ котла, о проводящія трубы, и наконецъ въ самомъ паровомъ

(*) Разрывы паровыхъ котловъ объясняли еще соединеніемъ внутри ихъ кислорода и водорода образующагося при разложеніи воды. Въ послѣднее время указывали еще на электричество, производимое парами. Но оба эти объясненія намъ кажутся неосновательными, и даже противорѣчащими нѣкоторымъ наилучше доказаннымъ физическимъ законамъ, и потому мы ихъ не излагаемъ въ подробности.

насосъ. Чтобы уменьшить, сколько возможно, происходящія отъ этого потери, верхнюю часть котла обкладываютъ кирпичомъ, а проводящія трубки толстымъ слоемъ шерстяной ткани, или окружаютъ ихъ кожухомъ, чрезъ который пропускаютъ нагрѣтые газы, выходящіе изъ печи. Паровой цилиндръ предохраняютъ отъ охлажденія деревянною оправою, наполняя пространство между ними толченымъ углемъ или другимъ дурнымъ проводникомъ тепла, или посредствомъ металлической стѣнки, окружающей его, и внутрь которой пускаютъ паръ. Здѣсь паръ сгущается, также какъ и въ паровомъ цилиндрѣ безъ этого устройства; но легко понять, что при этомъ сберегается много силы, а слѣдовательно и пара; въ-самомъ-дѣлѣ, вода, происходящая отъ охлажденія и смачивающая стѣнки цилиндра, превращается въ паръ, когда устанавливается сообщеніе съ холодильникомъ, и давленіе этого пара задерживаетъ движенія поршня; отсюда ясно, какъ важно, чтобы паровой цилиндръ оставался постоянно сухимъ. По вычисленію Комбса, кожухъ, окружающій насосъ, сберегаетъ отъ 15 до 20 процентовъ топлива.

Намъ остается показать еще одну причину потери тепла. При кипѣніи выбрасываются маленькія частицы воды; частицы эти увлекаются паромъ въ паровой цилиндръ и мѣшаютъ дѣйствію поршня. Для избѣжанія этого неудобства, въ верхней части котла часто устроиваютъ куполъ, подъ вершиною котораго паръ отводится: куполъ этотъ увеличиваетъ ёмкость паровой камеры, т. е., мѣста надъ водою. Количество жидкости, механически увлеченной, можетъ быть значительно. Нѣкоторые фабричныя машины теряли такимъ-образомъ столько воды, что питательный насосъ не успѣвалъ наполнять эту потерю; послѣ же устройства купола, потеря уменьшалась на столько, что сберегалось около четверти топлива.

Издержки для одной паровой лошади. Количество топлива, потребнаго на 1 лошадиную силу въ часъ времени, измѣняется по роду употребляемаго паровика и по системѣ машины. Обыкновенно на 1 лошадиную силу употребляютъ въ часъ отъ 3-хъ до 5-ти килогр. угля, которые превращаютъ въ пары около 35-ти литровъ воды. Поверхность нагрѣванія должна имѣть 170 квадр. метровъ на лошадиную силу, а поверхность рѣшетки 70 квадр. пентиметровъ.

Количество топлива соотвѣтствующаго полезной работѣ 1 лошадиной силы въ часъ, зависитъ много отъ рода употребляемаго пароваго котла и системы машины. Такъ напр. машины съ высокимъ давленіемъ, снабженныя расширеніемъ и холодильникомъ, даютъ отъ

90,000 до 108,000 килограмметровъ въ часъ на лошадиную силу, съ 4—2,5 килограммами угля; тогда какъ безъ расширенія и холодильника, отдаютъ только отъ 21,500 до 27,000 килограмметровъ, съ 10—8 килограммами топлива. Года четыре или пять назадъ изобрѣли средство значительно сберегать топливо; такъ Фарко (Farcot) устроилъ недавно улучшенныя машины, которыя расходуютъ только 1,5 кил. угля въ часъ, на лошадиную силу.

Какъ прежде старались объ уменьшеніи вѣса паровыхъ машинъ, такъ теперь стараются объ уменьшеніи размѣровъ пароваго котла съ сохраненіемъ ему способности быстро производить паръ; и достигаютъ этого относительнымъ увеличеніемъ нагрѣваемой поверхности, или усиливаніемъ горѣнія въ топкѣ небольшаго размѣра. Трубчатые паровики, о которыхъ мы будемъ говорить далѣе, уже на многое подвинули разрѣшеніе вопроса. Нужно съ малымъ количествомъ воды, посредствомъ быстраго испаренія, доставлять машинѣ потребное во всякое время количество пара. Для этого были произведены опыты надъ очень маленькими паровиками, дно которыхъ накаляется. Струя воды, падая на дно, принимаетъ шарообразное состояніе и производитъ пары. Тестюдъ де-Борегаръ (Testud de Beauregard) и Бутиньи устроили на самомъ дѣлѣ подобнаго рода машины, хотя въ малыхъ размѣрахъ. Мы еще будемъ имѣть случай разсмотрѣть механическое дѣйствіе извѣстнаго количества теплоты, когда будемъ, въ слѣдующей главѣ, говорить о способахъ ея полученія

III. Пароходы.

320. Папѣну принадлежитъ изобрѣтеніе паровой машины съ поршнемъ; онъ же первый примѣнилъ паръ къ движенію судовъ. Независимо отъ нѣкоторыхъ указаній на этотъ предметъ въ сочиненіи изданномъ имъ въ 1795 г., изъ переписки его съ Лейбницемъ видно, что тотъ же Папѣнъ построилъ лодку довольно большаго размѣра, надъ которой сдѣлалъ нѣсколько удачныхъ опытовъ на Фульдѣ. Въ 1707 г., желая перевезти свой снарядъ въ Англію, чтобы тамъ повторить свои опыты, и показать, какъ при помощи огня два человѣка могутъ сдѣлать больше, чѣмъ нѣсколько сотенъ гребцовъ, онъ чрезъ Лейбница испросилъ у курфирста ганноверскаго дозволеніе провести свое судно изъ Фульды въ Везеръ, но встрѣтилъ большое сопротивленіе со стороны моряковъ, которые разломали въ куски его

машину и такимъ-образомъ уничтожили послѣднія надежды изобрѣтателя, денежныя средства котораго истощились

Въ 1753 г. Парижская Академія Наукъ предложила на конкурсъ вопросъ о движеніи судовъ безъ помощи вѣтра. Клодъ Жуффроа (Claude Jouffroy d'Albans), для приведенія въ движеніе колеса съ лопатками, помѣщеннаго на кормѣ судна, вздумалъ примѣнить машину Ньюкомена, что уже прежде пробовалъ Іоаннъ Гуль (Hull).

Въ 1770 г., послѣ усовершенствованій, сдѣланныхъ въ воздушной машинѣ Уатомъ, и послѣ нѣсколькихъ попытокъ Иерье на Сенѣ, Жуффроа спустилъ въ рѣку Дубъ лодку въ 40 футовъ длины, которая двигалась посредствомъ лопатчатыхъ веселъ, приводимыхъ въ движеніе паромъ. Впослѣдствіи, при опытахъ, произведенныхъ имъ на Саонѣ, въ 1723 г., онъ эти весла замѣнилъ колесами съ перьями. Онъ поднялся вверхъ по рѣкѣ между Лономъ и островомъ Барбомъ съ полнымъ успѣхомъ въ присутствіи 10 т. зрителей. Послѣ сего Жуффроа ходатайствовалъ о выдачѣ ему привилегіи у министра Калонна, который счелъ нужнымъ спросить мнѣніе академіи наукъ; академія потребовала новыхъ опытовъ на Сенѣ; но Жоффруа, истощивъ свои денежныя средства, не могъ выполнить этого условія. Вскорѣ послѣ того произошла революція; онъ эмигрировалъ, и отказался отъ своего предпріятія.

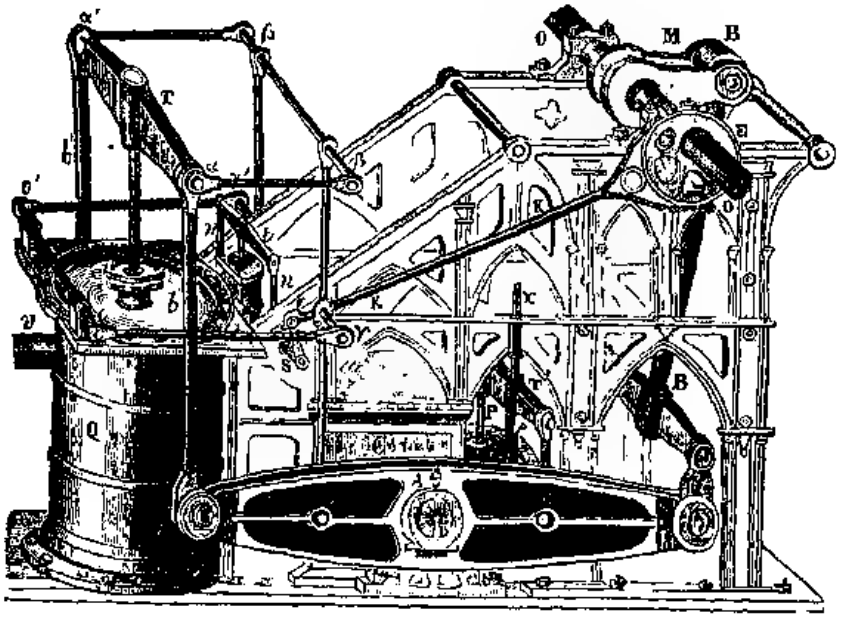
Такимъ-образомъ въ 1807 г. Фультону выпала на долю слава окончательно разрѣшить вопросъ о движеніи посредствомъ пара. Онъ построилъ въ Америкѣ лодку, которая совершила правильные рейсы между Нью-Іоркомъ и Альбани. Только въ 1812 г. появился первый пароходъ въ Европѣ, онъ назывался «Комета» и плавалъ по Клейдѣ въ Шотландіи. Извѣстно, какіе громадные успѣхи сдѣлало съ-тѣхъ-поръ пароходство: въ одной Америкѣ въ настоящее время 3,000 паровыхъ судовъ.

321. Паровыя машины на судахъ. — Въ пароходствѣ употребляютъ обыкновенно машины съ холодильникомъ, вслѣдствіе удобнаго снабженія его водою Во французскомъ и англійскомъ военныхъ флотахъ употребляются исключительно машины низкаго давленія. Фиг. 208-я представляетъ машину паровнаго фрегата въ 500 лошадиныхъ силъ. Два одинакихъ снаряда расположены одинъ возлѣ другаго и дѣйствуютъ на одну и ту же ось *O O*, посредствомъ двухъ перпендикулярныхъ между собою кривошиповъ, такъ, что одинъ изъ нихъ находится въ самомъ выгодномъ для работы положеніи въ то время, когда

другой проходитъ мертвую точку. Для небольшихъ судовъ довольствуются обыкновенно одною машиною.

Машина, изображенная на фиг. 208-й, ни что иное, какъ машина Уата (293), устроенная такъ, что коромысло находится внизу оси *OO*.

фиг. 208.



Q — цилиндръ насоса, куда паръ приводится чрезъ трубку *v*. Паръ обращается сначала въ кожухъ, окружающемъ насосъ, потомъ переходитъ въ паровой ящикъ, котораго верхняя часть видна съ правой стороны, и въ которой движется золотникъ *l*. Къ стержню поршня прикрѣплена перекладина *T*, въ которой сочленяются два рычага *bb'*, соединенные нижними концами съ двумя коромыслами, по обѣимъ сторонамъ снаряда. Одно изъ этихъ коромыселъ представляетъ *A*ε. Прямолинейное движеніе пруту поршня сообщается двойнымъ суставчатымъ параллелограммомъ $\alpha\beta\delta\varepsilon$, $\alpha'\beta'$. Посредствомъ брусковъ $o\gamma$, o', γ', обращающихся около осп $o\,o'$, эти параллелограммы приводятся постоянно въ надлежащее положеніе. Оба коромысла дѣйствуютъ на одинъ и тотъ же шатунъ *BB*, посредствомъ котораго двигается кривошипъ *M*, прикрѣпленный къ оси *OO*. Къ концамъ этой оси снаружи судна прикрѣплены колеса съ перьями. Эксцентрикъ *E* служитъ для распредѣленія пара; оно приводитъ въ движеніе съ помощію шатуна *KK*, рычагъ

sr, который въ свою очередь дѣйствуетъ на вертикальные шатуны *n n*, соединенные съ перекладиною *t* стержня золотника. *P* есть воздушный насосъ; онъ приводится въ дѣйствіе коромысломъ, посредствомъ перекладины *T''*, которая соединена съ стержнемъ поршня и съ двумя вертикальными шатунами, изъ которыхъ одинъ видѣнъ на фигурѣ. Перекладина *T* направляется въ *x*; она же дѣйствуетъ и на насосъ *p*, снабжающій паровикъ водою. Въ *C* находится холодильникъ, вода приводится посредствомъ трубки, которая открывается на наружной части судна, ниже ватерлиніи. Машина, представленная на фигурѣ, самая употребительная Всѣ ея части укрѣплены на чугунномъ основаніи, и такимъ-образомъ крѣпко между собою связаны. Въ небольшихъ корабляхъ употребляютъ часто машины съ качательнымъ цилиндромъ. Употребляютъ также систему Моделея, вся особенность которой состоитъ въ томъ, что занимаетъ мало пространства по высотѣ.

322. О двигателѣ пароходовъ.—Съ самаго начала употребляли, какъ двигательный снарядъ, колеса съ перьями, расположенныя по обѣимъ сторонамъ судна Перья, ударяясь о воду, получаютъ въ ней точку опоры, потому-что вода, вслѣдствіе своей инерціи, представляетъ извѣстное сопротивленіе. Этотъ способъ очень древній, потому-что еще Витруній, который упоминаетъ о немъ, не зналъ имени его изобрѣтателя Перья погружаются въ воду и выходятъ изъ нея въ наклонномъ положеніи, потому-что описываютъ круговую линію. Такимъ-образомъ часть силы теряется и не можетъ способствовать движенію парохода Для избѣжанія этого неудобства, придумали употреблять подвижныя перья, такъ что ихъ плоскость находится въ вертикальномъ положеніи во все время погруженія ихъ въ воду. Такъ Кавѐ прикрѣпляетъ къ горизонтальной оси каждаго пера по кривошипу, соединенному съ шатуномъ, который получаетъ попеременное движеніе взадъ и впередъ отъ эксцентрическаго неподвижнаго колеса, которое окружаетъ ось большихъ колесъ Несмотря на это усовершенствованіе, колеса съ перьями даютъ только около $^2/_3$ нужнаго дѣйствія.

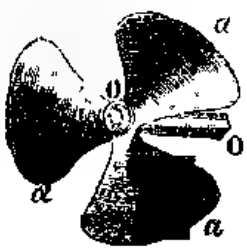
Въ морѣ колеса съ перьями представляютъ важныя неудобства: при волненіи они, то совсѣмъ заливаются водою, то совершенно выходятъ изъ нея *Отъ этого* происходитъ то, что кромѣ замедленія въ движеніи, машина получаетъ частые толчки отъ внезапныхъ перемѣщеній точки сопротивленія

Въ военныхъ паровыхъ судахъ колеса съ перьями представляютъ еще болѣе важныя неудобства; будучи расположены на самомъ вид-

номъ мѣстѣ корабля, они легко могутъ быть изломаны непріятельскими ядрами; кромѣ-того они занимаютъ огромное пространство, на которомъ нельзя поставить пушекъ. Такимъ-образомъ окончательное примѣненіе паровыхъ машинъ къ военнымъ кораблямъ зависѣло отъ изобрѣтенія такого двигателя, который не представлялъ бы сихъ неудобствъ Винтъ удовлетворяетъ въ этомъ случаѣ всѣмъ требованіямъ

Винтовый двигатель. Для того, чтобы представить себѣ способъ дѣйствія *винта*, разсмотримъ сначала винтъ съ большимъ нарѣзомъ, помѣщенный горизонтально подъ водою на кормѣ судна. Если сообщить этому винту быстрое вращательное движеніе около оси, то вода, вслѣдствіе инерціи, будетъ представлять собой гайку и если предположить, что она остается неподвижною, то винтъ при каждомъ своемъ оборотѣ будетъ подвигаться впередъ на разстояніе, равное высотѣ его нарѣза, увлекая въ своемъ движеніи и судно Но такъ-какъ вода не оказываетъ столь сильнаго сопротивленія, то не вся сила дѣйствія винта употребляется на движеніе впередъ, часть ея идетъ на отталкиваніе воды. Количество полезной работы въ этомъ случаѣ находится въ прямомъ отношеніи со скоростію вращенія винта. Этотъ выводъ, вполнѣ объясняемый теоретически, былъ подтвержденъ опытами Нормана (Normand), построившаго *Наполеонъ*, второй винтовый корабль во Франціи. Обыкновенно довольствуются

фиг. 209.

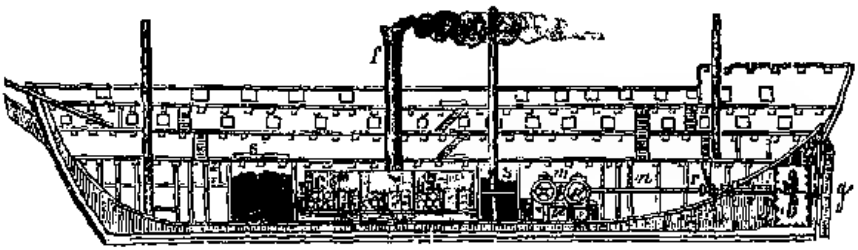


однимъ оборотомъ спиральной линіи въ винтѣ; а для того чтобы ось его не была слишкомъ длинна, спиральную линію раздѣляютъ на нѣсколько частей, которыя размѣщаются вокругъ оси при одинаковомъ разсѣченіи Фиг. 209-я представляетъ въ перспективѣ винтъ, котораго спиральная линія раздѣлена на три части *a, a a*, расположенныя вокругъ оси *OO*

Винтъ помѣщается въ той узкой части судна, которая образуетъ сзади родъ вертикальной стѣны *aa* (Фиг. 210) впереди руля *g*. Фигура (210) представляетъ продольный разрѣзъ винтоваго фрегата въ вертикальной плоскости, разсѣкающей киль. Широкое отверстіе *a a*, окованное желѣзной рамой, поддерживаетъ ось винта *r* Эта ось проходитъ въ кормовую часть судна чрезъ отверстіе, законопаченное паклей. Другая ось *n*, служащая продолженіемъ первой, смотря по надобности, можетъ быть разъединена или соединена съ нею, посредствомъ рычага *r*, который приводитъ въ движеніе муфту съ

фальцами, снабженную затычками. Ось n приводится въ дѣйствіе паровой машиною m Эта машина состоитъ изъ четырехъ горизонталь-

фиг. 210.



ныхъ цилиндровъ, расположенныхъ попарно съ одной и съ другой стороны оси n. Поршни дѣйствуютъ посредствомъ рычаговъ на кривошипы, прикрѣпленные къ оси. Иногда, какъ напр въ кораблѣ *Архимедъ*, на оси n находится зубчатый барабанъ, который приводитъ въ дѣйствіе длинную шестерню, прикрѣпленную къ оси винта. Большая длина шестерни служитъ для предохраненія зубцовъ отъ ломки Такое расположеніе позволяетъ сообщать винту большую скорость движенія. Въ c, c находятся паровики, f дымовая труба, s и s'—запасы угля. Такъ-какъ весь снарядъ находится въ глубинѣ трюма, то онъ защищенъ отъ поврежденія во время сраженія

Винтъ, какъ двигатель судовъ, употреблялся еще прежде изобрѣтенія паровой машины. Дю-Кэ (Du-Quet) въ 1687 г. первый сдѣлалъ нѣсколько неудачныхъ опытовъ съ этимъ снарядомъ. Въ 1777 г. Давиду Бушнелю (Bushnell) въ Америкѣ удалось посредствомъ винта сообщать движеніе водолазной лодкѣ, въ 1823 г. французскій капитанъ Далиль предложилъ примѣнить винтъ къ военнымъ паровымъ судамъ. Соважъ (Sauvage) сдѣлалъ въ винтѣ много улучшеній; онъ доказалъ, что наибольшее количество силы винтъ имѣетъ тогда, когда у него только одна спиральная линія. Первый винтовый корабль, надъ которымъ произведены опыты во Франціи, былъ «Архимедъ» построенный Смитомъ

Такъ-какъ винтъ помѣщается ниже уровня воды, то изъ этого слѣдуетъ, что волненіе ни сколько не препятствуетъ его дѣйствію, и что непріятельскія ядра не могутъ ему вредить. Единственное его неудобство заключается въ томъ, что гнѣзда, въ которыхъ обращается его ось, довольно скоро стираются и дѣлаются негодными, вслѣдствіе быстраго вращенія въ нихъ оси.

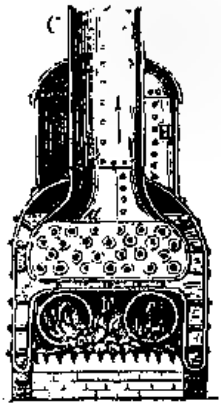
323. Паровики пароходовъ. —При устройствѣ паровиковъ на пароходахъ, преимущественно обращаютъ вниманіе на то, чтобы они не имѣли слишкомъ большаго вѣса, и вмѣстѣ съ тѣмъ представляли бы поверхность топки достаточно обширную, для произведенія большаго количества пара. Внутри ихъ часто устроиваютъ перегородки для того, чтобы удерживать воду въ то время, когда судно приходитъ въ наклонное положеніе. Паровики бываютъ большею частію четыреугольные, и противоположныя плоскія стѣнки ихъ скрѣпляются связями, которыя идутъ отъ одной стѣнки къ другой, и такимъ-образомъ не позволяютъ имъ раздаваться. Въ паровикахъ бываетъ одна или нѣсколько внутреннихъ топокъ съ толстыми трубками, которыя сообщаются съ дымовой трубой, сдѣлавши предварительно нѣсколько оборотовъ въ водѣ. Отверзтіе топки, которая тоже окружена водой, приходится прямо къ отверзтію одинаковой величины, въ одной изъ вертикальныхъ стѣнокъ паровика Такимъ-способомъ замѣняются тяжелыя кирпичныя печи, которыя своею тяжестію отягощали бы судно.

Трубчатые паровики.—Для того, чтобы увеличить топки, употребляютъ трубчатые паровики, изобрѣтенные въ 1803 г. Даллери (Dallery). Паровикъ этотъ состоитъ изъ двухъ, одинъ надъ другимъ стоящихъ, резервуаровъ, сообщаются между собою посредствомъ множества вертикальныхъ трубокъ, наполненныхъ водою, равно какъ нижній резервуаръ. Трубки окружены со всѣхъ сторонъ огнемъ, и поэтому въ нихъ образуется очень много пара, который переходитъ въ верхній резервуаръ.

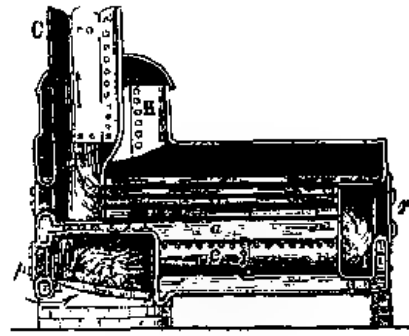
Съ нѣкотораго времени въ Америкѣ начали входить въ употребленіе паровики, обыкновенно употребляемые въ паровозахъ, и построенные по системѣ г. Сегена Въ этихъ паровикахъ огонь и дымъ проходятъ въ трубки, окруженныя водой. Фигура 211 представляетъ поперечный, а фигура 212 продольный разрѣзъ такого паровика съ одинаковыми буквами для обозначенія одинаковыхъ частей въ обѣихъ фигурахъ. *F* печь, въ которую кладется чрезъ отверзтіе *p* топливо; пламя проходитъ сначала чрезъ двѣ большія трубы *c*, *c*, окруженныя со всѣхъ сторонъ водою, потомъ чрезъ пространство *f*, и проникаетъ во множество маленькихъ трубокъ *a a*, проходящихъ чрезъ паровикъ, и оттуда уже идетъ въ дымовую трубу *C*. Очевидно, что поверхность топки бываетъ тѣмъ больше, чѣмъ многочисленнѣе трубки *a a*. Отведеніе пара дѣлается въ паровой камерѣ *H* Въ *r* пахо-

дятся дверцы, которыя открываются для чистки трубокъ *a a*, подобныя дверцы находятся и на противоположной сторонѣ котла.

фиг. 211



фиг. 212.



Въ морѣ соленая вода, которая употребляется для паровиковъ, постепенно сгущается и осаждаетъ соль. Для избѣжанія этого неудобства, отъ времени до времени выливаютъ часть воды посредствомъ крановъ, придѣланныхъ къ самой нижней части паровика, это называется продуваніемъ. Употребляютъ также насосы, которые дѣйствуютъ непрерывно, таковы напр разеольные насосы Моделея Наконецъ придумали наполнять паровики прѣсной водой, а потомъ, по мѣрѣ надобности, пополнять убыль дистиллированной водой, осаждающейся отъ паровъ. Въ такомъ случаѣ нужно, чтобы эта вода въ холодильникѣ не смѣшивалась съ морской водой, которая служитъ для охлажденія Этого достигаютъ, направляя паръ въ систему трубокъ, окруженныхъ холодной водой, подобныхъ описаннымъ нами въ статьѣ о сложныхъ паровыхъ машинахъ

Важныя усовершенствованія, сдѣланныя въ послѣднее время въ устройствѣ паровиковъ, произвели значительное сбереженіе топлива, такъ-что можно было переплыть на паровыхъ судахъ Атлантическій океанъ, забравши съ собой все нужное для переѣзда количество угля. Въ 1838 г. въ первый разъ родилась смѣлая мысль о подобномъ путешествіи. Послѣ продолжительныхъ колебаній и жаркихъ споровъ было построено большое судно, Гритъ-Вестернъ съ двумя машинами въ 240 лошадиныхъ силъ. Когда эти приготовленія сдѣлались гласными, Сиріусъ, небольшой корабль въ 700 тоннъ съ машиной въ 320 силъ, рѣшился испытать счастіе, и 5-го апрѣля вышелъ изъ

Корка въ Ирландіи, взявши съ собой 150 тоннъ угля. Гритъ-Вестернъ вышелъ чрезъ три дня послѣ того изъ Бристоля; нашлось только семь охотниковъ на это путешествіе въ качествѣ пассажировъ, точно также какъ и Фультонъ нашелъ только одного охотника, когда дѣлалъ свое первое путешествіе. Чрезъ три дня Сиріусъ былъ настигнутъ Гритъ-Вестерномъ, но когда онъ сжегъ большую часть топлива, то перегналъ его, и 23-го апрѣля былъ уже въ виду Нью-Іорка. Извѣстіе объ этомъ предпріятіи уже съ нѣкотораго времени было распространено въ Нью-Іоркѣ, и потому каждый день толпа народа собиралась на берегу моря и въ тревожномъ ожиданіи смотрѣла на горизонтъ. Восторгъ былъ всеобщій, когда вдали показалась полоса дыма, возвѣщавшая прибытіе перваго парохода, переплывшаго океанъ. Скоро Сиріусъ бросилъ якорь въ гавани; съ фортовъ сдѣлано было 26 пушечныхъ выстрѣловъ, корабли покрылись флагами, и въ городѣ раздался колокольный звонъ. Чрезъ нѣсколько часовъ прибылъ и Гритъ Вестернъ, который потомъ нѣсколько разъ совершалъ это путешествіе, иногда не болѣе какъ въ 12 сутокъ и нѣсколькихъ часовъ.

IV. Паровозы.

324. Мы видѣли, что изобрѣтеніе паровой машины было вызвано главнымъ образомъ, желаніемъ упростить и облегчить разработку рудниковъ. Желѣзныя дороги и паровозы, посредствомъ которыхъ перемѣщеніе съ мѣста на мѣсто производится съ такою скоростію, обязаны своимъ происхожденіемъ подобной же мысли. Долгое время опыты надъ паровозами были весьма неудовлетворительны, по причинѣ трудности получить большое количество пара въ снарядѣ, имѣющемъ, по необходимости, ограниченные размѣры. Тѣ громадные результаты, которымъ мы теперь удивляемся, достигнуты послѣ того, какъ дошли до возможности имѣть большую нагрѣвательную поверхность въ паровикахъ малаго размѣра. Въ 1759 г. докторъ Робизонъ, другъ Уата, первый вздумалъ примѣнить паръ къ перевозкѣ тяжестей; но тогда еще не были извѣстны паровыя машины безъ холодильниковъ, и потому огромное количество воды, нужное въ подобныхъ машинахъ, увеличивало на столько тяжесть паровоза, что онъ не могъ даже двигать самъ себя. Въ 1778 г. французскій инженеръ Кюньо (Cugnot) сдѣлалъ въ парижскомъ арсеналѣ первый опытъ паровоза. Эта машина, предназначавшаяся для обыкновенныхъ дорогъ, дѣйствовала безъ холодильника; скорость ея движенія равня-

лась одной мили въ часъ, но количество пара, доставляемое паровикомъ, было слишкомъ мало, и потому, проѣхавши извѣстное пространство, машина останавливалась. Опыты, произведенные послѣ того, относятся уже къ движенію по желѣзнымъ дорогамъ, по системѣ рельсовъ, существовавшей въ Англіи уже около двухъ столѣтій близъ рудниковъ, для перевозки нагруженныхъ телѣгъ. Для этого сначала употребляли исключительно лошадей, которыхъ припрягали нѣсколько гуськомъ, потомъ стали употреблять неподвижныя паровыя машины, которыя ихъ тащили посредствомъ каната, наматывавшагося на валъ, какъ это дѣлается иногда и теперь на желѣзныхъ дорогахъ, гдѣ покатость слишкомъ большая.

Тревитикъ и Вишанъ въ 1802 г. построили первую паровую машину, которая двигалась сама собою и тащила на буксирѣ нагруженные вагоны Этотъ паровозъ состоялъ изъ цилиндрическаго паровика съ внутреннею топкою и снабженъ съ насосомъ двойнаго дѣйствія. Стержень поршня дѣйствовалъ на два кривошипа прикрѣпленные къ оконечностямъ оси обѣихъ колесъ посредствомъ шатуновъ, расположенныхъ наподобіе того, какъ въ машинѣ Модслея. Къ оси колесъ прикрѣплялось маховое колесо, для регулированія сообщаемаго имъ движенія Если предположить, что колеса, обращаясь, не скользятъ по рельсамъ, то при каждомъ ихъ обращеніи паровозъ подвинется на разстояніе, равное величинѣ ихъ окружности. Опытъ надъ подобной машиной былъ сдѣланъ въ княжествѣ Валлійскомъ на желѣзной дорогѣ въ 3 мили длиною, которая вела отъ каменноугольной копи; машина эта тащила 100 тоннъ каменнаго угля со скоростью 2 миль въ часъ. Но, по причинѣ недостаточности поверхности топки, нужно было сдѣлать предварительно запасъ пара и по возможности сберегать его во время проѣзда, для того чтобы не остановиться на дорогѣ.

Тогда думали, что треніе о рельсы слишкомъ недостаточно для того, чтобы колеса по немъ не скользили, и что по этому паровозъ все долженъ оставаться на одномъ мѣстѣ. Чтобы устранить это препятствіе, которое дѣйствительно могло имѣть значеніе въ паровозахъ съ незначительною тяжестью, которые тогда строились, вздумали дѣлать рельсы съ зубцами, отъ чего они скоро портились. Въ 1811 году Бленкенсонъ предложилъ положить во всю длину дороги зубчатую полосу, для того чтобы зубцы колесъ паровоза могли при движеніи имѣть точку опоры. Въ 1812 г. Шапманъ замѣнилъ зубчатую полосу безконечной цѣпью, которая прикрѣплялась между рельсами.

Брунтонъ въ 1813 году сообщилъ паровозу движеніе посредствомъ суставчатыхъ брусковъ, которые дѣйствовали наподобіе заднихъ ногъ у лошади. Только въ 1814 году англійскій инженеръ Блакетъ первый сдѣлалъ предположеніе, не будетъ ли давленіе на рельсы достаточно, чтобы привести паровозъ въ движеніе и опытъ подтвердилъ его догадку; только нужно было, чтобы колеса несли на себѣ тѣмъ большую тяжесть, чѣмъ тяжелѣе поѣздъ, который слѣдовало везти машинѣ.

Употребленіе паровозовъ было значительно облегчено этимъ открытіемъ, и съ-тѣхъ-поръ ревностно старались объ усовершенствованіи и упрощеніи ихъ составныхъ частей. Доддъ и Стефенсонъ замѣнили маховое колесо двумя насосами дѣйствовавшими на два перпендикулярные одинъ другому кривошипа В. Гаквортъ (Hackworth), уничтожилъ всѣ способы зацѣпки колесъ; потомъ Стефенсонъ наклонилъ цилиндры на 45°, и такимъ-образомъ, мало-по-малу, дошли до того, что стали ихъ класть горизонтально, что не было еще ни въ одной машинѣ, потому-что думали, что въ такомъ положеніи поршни слишкомъ скоро испортятся.

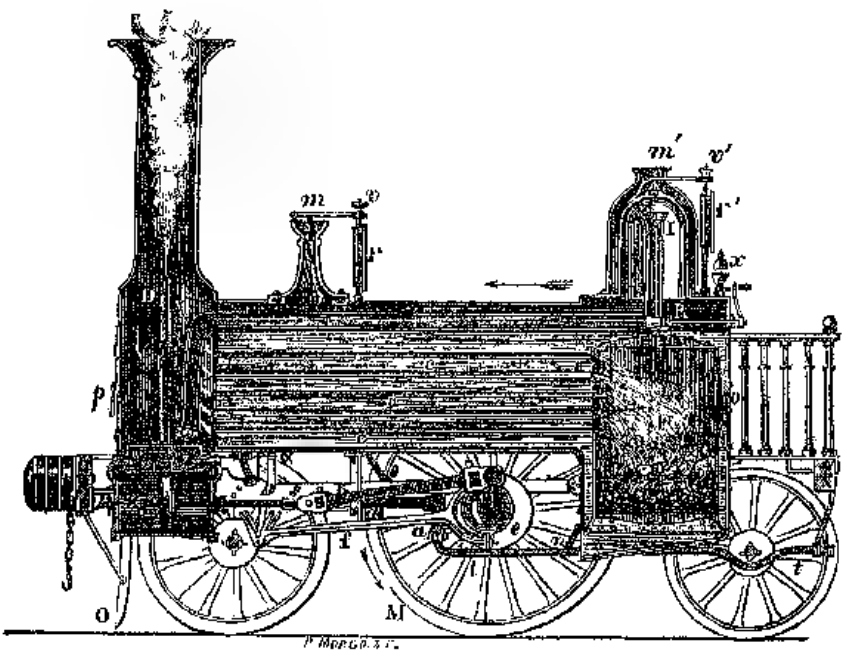
Несмотря на всѣ эти усовершенствованія, паровозы могли употребляться только при поѣздахъ на небольшое разстояніе, по причинѣ слишкомъ малой поверхности топки, которую не могли сдѣлать больше 8-ми квадратныхъ метровъ, при всемъ стараніи увеличить нагрѣваемую поверхность.

Наконецъ въ 1727 году такъ давно ожидаемое разрѣшеніе этого вопроса было найдено г. Сегеномъ, вслѣдствіе опытовъ сдѣланныхъ имъ на желѣзной дорогѣ изъ С. Этіена въ Ліонъ Для полученія значительной поверхности топки, онъ вздумалъ провести чрезъ воду, находящуюся въ паровикѣ, трубки, въ которыя проходилъ бы изъ печки огонь. Въ 1829 году это изобрѣтеніе было примѣнено къ практикѣ Стефенсономъ, который первый построилъ паровозъ, способный непрерывно сообщать нужное для сего движенія количество пара. Это изобрѣтеніе совпадало съ постройкой первой желѣзной дороги, открытой для публики, и вотъ при какихъ обстоятельствахъ. чтобы положить предѣлъ алчности владѣтелей канала между Ливерпулемъ и Манчестеромъ, между этими двумя городами устроена была желѣзная дорога, предназначавшаяся сначала только для перевозки товаровъ, и на которой неподвижныя паровыя машины должны были тащить вагоны на буксирѣ. Когда дорога была построена, инженерамъ пришла въ голову мысль примѣнить къ дѣлу паровозы, и по этому они пригласили всѣхъ строителей на конкурсъ, на которомъ

награду долженъ былъ получить тотъ, кто представитъ машину наиболѣе совершенную. Паровозъ Стéфенсона былъ удостоенъ преміи; онъ былъ четырехколесный, представлялъ поверхность топки въ 12 квадр. метровъ, и могъ тащить на буксирѣ 13 тоннъ на горизонтальной поверхности съ скоростію 6-ти миль въ часъ; одинъ онъ дѣлалъ 10 миль. Эта машина имѣла особенное устройство, которое мы опишемъ, предназначенное для увеличенія тяги въ трубѣ во время движенія.

325. Описаніе шестиколеснаго паровоза. Съ-тѣхъ-поръ были усовершенствованы разныя отдѣльныя части въ паровозахъ, а общее ихъ устройство оставалось то же, какое было принято Стéфенсономъ. Фиг. 213-я представляетъ продольный разрѣзъ шестико-

фиг. 214.



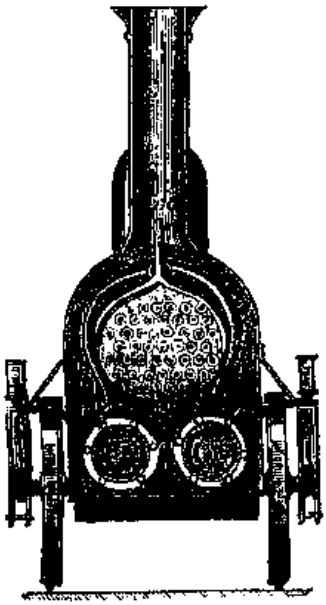
леснаго паровоза. Въ немъ различаются двѣ части: паровикъ съ печкой, и механизмъ, который приводится въ дѣйствіе посредствомъ пара. Паровикъ имѣетъ цилиндрическую форму, съ одной стороны находится четыреугольное пространство F окруженное съ трехъ сторонъ водою; оно служитъ топкою. Всѣ плоскія части скрѣплены связями, которыя не даютъ стѣнкамъ вгибаться. Чрезъ дверцы *o* кладется топливо на рѣшетку, воздухъ проходитъ чрезъ широкое от-

верзтіе *n*,—которое кондукторъ, при движеніи машины, можетъ притворять болѣе или менѣе, смотря по надобности, посредствомъ ручки, которую онъ можетъ достать, стоя на площадкѣ возлѣ топки. Трубки *c*, *c*, *c* идущія отъ топки къ противоположному краю паровика, окружены водою, въ котлѣ находящеюся Чрезъ нихъ проходитъ огонь и достигаетъ такимъ-образомъ дымовой камеры *D V*, надъ которымъ находится дымовая труба. Въ *p* широкое отверзтіе, которое открывается для чищенія трубокъ. Фиг. 214-я представляетъ поперечный разрѣзъ дымовой камеры, на ней видны и оконечности трубокъ. *m m'* (фиг. 213) предохранительные клапаны съ пружинками *r r*, которыя управляются посредствомъ винтовъ *v v'*. Степень напряженія пружинъ измѣряется по градусамъ. *x*—сигнальный свистокъ, такой же какъ и на фиг. 207, только съ краномъ, который открывается машинистомъ, для произведенія того остраго и пронзительнаго звука, который каждый слыхалъ на желѣзныхъ дорогахъ. *P* есть одинъ изъ двухъ поршней, помѣщенныхъ рядомъ подъ дымовою камерою, Прутъ поршня направляется неподвижнымъ пазомъ, и дѣйствуетъ посредствомъ шатуна *K* на одинъ изъ кривошиповъ, находящихся на оси двигательныхъ колесъ *M*. Распредѣленіе пара производится посредствомъ золотника, котораго разрѣзъ видѣнъ надъ насосомъ *P*. Стержень этого золотника направляется въ *a*, и приводится въ движеніе посредствомъ рычага, на который дѣйствуетъ шатунъ *f* и эксцентрическое колесо *e*; *a*, *a* насосъ, накачивающій воду, котораго поршень соединенъ съ оконечностью поршня *P*. Вода вгоняется въ паровикъ чрезъ трубу θ, а приводится чрезъ трубки *t t* изъ резервуара находящагося на другомъ вагонѣ, который называется *тендеромъ*, и всегда слѣдуетъ за паровозомъ съ запасомъ воды и топлива. Паръ проходитъ къ поршнямъ чрезъ оконечность *J* трубки, которая находится подъ котломъ, для того чтобы уменьшить количество воды, увлекаемой паромъ въ видѣ тумана. Эта трубка имѣетъ загибъ въ *P*, проходитъ чрезъ паровую камеру паровика, и, достигнувъ дымовой камеры, раздѣляется на двѣ вѣтви, изъ которыхъ каждая ведетъ въ одинъ изъ насооовъ. Эти двѣ вѣтви видны въ *OO* (фиг. 214). Въ *P* (фиг. 213) находится кранъ, посредствомъ котораго впускается паръ; его стержень выходитъ наружу чрезъ законопаченное отверзтіе; онъ управляется посредствомъ прикрѣпленной къ нему рукоятки. Вмѣсто крана употребляютъ часто разные затворы, посредствомъ которыхъ можно остановить протокъ пара, или дать ему болѣе или менѣе широкій проходъ.

Кончивши свое дѣйствіе въ насосахъ, паръ проходилъ чрезъ труб-

ки *cv*, *c'v* (фиг. 214), *V* (фиг 213) и потомъ чрезъ трубку *D* идетъ въ дымовую трубу Такъ какъ этотъ паръ выходитъ съ высокимъ давлеиемъ и въ очень короткіе промежутки времени, потому-что съ каждымъ оборотомъ колеса бываетъ четыре выхода, то образуется родъ искусственной тяги, которая замѣняетъ недостатокъ отводной трубы, и производитъ очень сильный притокъ газовъ. Отъ этого огонь легко проходитъ чрезъ трубки, находящіяся въ паровикѣ, несмотря на оказываемое ими сопротивление Эта искусственная тяга бываетъ только во время движенія, и притомъ тѣмъ больше, чѣмъ больше скорость, т.-е. чѣмъ большее количество пара нужно доставить въ минуту. Замѣтимъ также, что при прямомъ движеніи паровоза, когда дымовая труба находится впереди, ударомъ воздуха въ *n*, производится настоящее вдуваніе его подъ рѣшетку, которое бываетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше скорость движенія, т.-е чѣмъ больше расходуется паровъ.

фиг. 214.



Мысль объ употребленіи паровой струи, для произведенія тяги, очень древняя. Филибертъ Ормскій совѣтуетъ ставить въ дымовыхъ трубахъ эоловы мячи, которые производимымъ ими вѣтромъ содѣйствовали бы болѣе быстрому теченію дыма; эту мысль онъ приписываетъ Витрувію. Въ 1818 г. Манури Декто (Manoury d'Ectot) построилъ раздувательную машину, въ которой струя пара увлекала воздухъ чрезъ трубку Наконецъ французскій физикъ Пельтанъ (Pelletan) употребилъ это же средство для увеличенія тяги въ дымовыхъ трубахъ нѣкоторыхъ паровыхъ машинъ Стѐфенсонъ первый приложилъ его къ паровозамъ.

Рама. Паровикъ и весь механизмъ паровоза помѣщается въ желѣзной или деревянной, окованной желѣзомъ, рамѣ (Châssis). На фиг. 214 видны кривые желѣзные шипы или уши, служащія для соединенія паровика съ рамою. Служа такимъ-образомъ поддержкой всего снаряда, она упирается на колесныя оси посредствомъ

крѣпкихъ стальныхъ пружинъ. Въ *O* (фиг. 213) находится башмакъ, который счищаетъ могущіе случиться на рельсахъ посторонніе предметы, препятствующіе движенію.

Въ описанномъ вами паровозѣ насосы помѣщаются между колесами, которыхъ оси должны имѣть поэтому два сгиба въ видѣ кривошипа, что представляетъ важныя неудобства въ паровозахъ большихъ размѣровъ Кромѣ-того, такъ-какъ паровые ящики и большая часть всего механизма находятся ниже паровика, то смазка и вообще весь надзоръ за ними не можетъ производиться во время движенія, и даже представляетъ много трудностей во время стоянки Теперь большею частно цилиндры помѣщаютъ внѣ колесъ, въ такомъ случаѣ видъ рамы совершенно измѣняется

326. Измѣненіе хода. — Паровозъ долженъ быть такъ устроенъ, чтобы, смотря по надобности, двигаться взадъ и впередъ и, чтобы кондукторъ, стоя на своемъ мѣстѣ, позади топки, могъ производить эту перемѣну направленія. Много было передумано различныхъ способовъ для достиженія этой цѣли; одинъ изъ нихъ представленъ на фиг. 215-й. Посредствомъ эксцентрика *e* приводится въ движеніе двой-

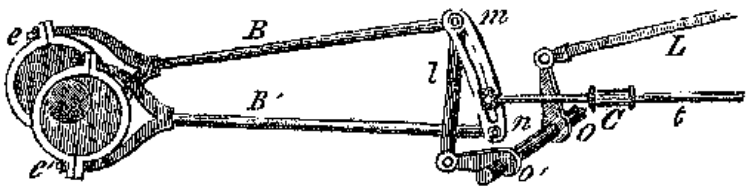
фиг 215

вая вилка, прикрѣпленная къ оконечности шатуна *d a* Часть *b a* этого рычага управляется катушкою *c*, которая прикрѣплена къ оконечности рычага *e o*, обращающагося около оси *o o'*. *t* стержень золотника; онъ получаетъ движеніе отъ рычага, который въ *o''* прикрѣпляется къ горизонтальной оси, къ этой же оси прикрѣпленъ вращающійся на ней рычагъ, α β. Рычагъ α β состоитъ изъ двухъ параллельныхъ частей, соединенныхъ по краямъ посредствомъ шкворней, между ними заключена двойная вилка. Когда оконечность *a* входитъ въ выемку, сдѣланную въ углѣ верхней вилки, то золотникъ производитъ движеніе впередъ. Для движенія назадъ двойная вилка понижается; при этомъ наклонная плоскость, образуемая одною изъ вѣтвей нижней вилки, направляетъ оконечность β такимъ-образомъ, что стерженъ золотника принимаетъ обратное положеніе; движеніе, которое онъ полу-

чаетъ потомъ отъ эксцентрика e, также противоположно тому, которое онъ имѣлъ, когда шатунъ da дѣйствовалъ на точку a. Чтобы поднять или опустить двойную вилку, кондукторъ измѣняетъ положеніе катушки e, дѣйствуя на рычагъ oe посредствомъ стержня L, верхнюю оконечность которой опъ затѣмъ останавливаетъ въ надлежащемъ положеніи. Часто употребляютъ два эксцентрика, насаженные на ось такимъ-образомъ, что они сообщаютъ противоположное направленіе рычагамъ, которыми управляютъ. Къ этимъ рычагамъ прикрѣплены вилки съ выемками; въ выемку одной изъ этихъ вилокъ вводится оконечность рычага, управляющаго движеніемъ золотника.

Пазъ Стѐфенсона. Фиг. 216-я представляетъ другое расположеніе, которое называется пазомъ Стѐфенсона; оно имѣетъ то преимущество,

фиг. 216.



что позволяетъ перемѣнять притокъ пара на ходу. Два противоположные эксцентрика e, e' прикрѣплены къ оси подвижныхъ колесъ; они приводятъ въ движеніе два шатуна B, B', которые съ пазомъ $m\ n$ образуютъ родъ дуги, центръ которой находится на оси колесъ. Эта дуга обращается около точки, находящейся въ ея центрѣ. t стержень золотника, который направляется въ C, а отъ дуги mn получаетъ поперемѣнное движеніе; это движеніе зависитъ отъ положенія, которое занимаетъ на дугѣ оконечность стержня t. Чтобы измѣнить это положеніе, дугу mn приподымаютъ болѣе или менѣе посредствомъ сочлененныхъ съ осью oo' рычаговъ, на которую дѣйствуютъ посредствомъ стержня L. На оконечности этого стержня находится рычагъ съ задвижкой, которую посредствомъ дуги съ выемками, устроенной такъ же, какъ и на фиг. 193-й, можно привести въ желаемое положеніе. Иногда дуга mn обращается около неподвижной точки, а рычагъ l соединяется съ оконечностью рычага, прикрѣпленнаго къ стержню золотника, какъ на фигурѣ 193-й.

327. Образованіе паровъ.—Возвратимся къ условіямъ образованія паровъ въ паровозахъ. Паровикъ состоитъ изъ двухъ частей—топки и цилиндрической части, въ которой находятся дымовыя трубки. Этихъ трубокъ бываетъ очень много: отъ 50 до 100 и даже до 125,

діаметромъ отъ 4-хъ до 5-ти сантиметровъ. Поверхность топки называется поверхностію прямаго нагрѣванія. Эта поверхность доставляетъ наибольшее количество паровъ на квадратный десиметръ, когда машина стоитъ; при движеніи же ея поверхность трубокъ, на одинакой поверхности, даетъ такое же количество пара, потому-что тогда огонь проникаетъ до самой оконечности трубокъ Памбуръ (Pambour) доказалъ, что образованіе паровъ во время движенія происходитъ почти въ 5 разъ быстрѣе, чѣмъ во время стоянія, оно увеличивается со скоростію движенія, что понятно изъ того, что струя пара, производящая тягу и вдуваніе воздуха подъ рѣшетку топки, производитъ въ это время значительное дѣйствіе. Для полученія наиболѣе быстраго образованія паровъ нужно, чтобы разрѣзъ трубы, чрезъ которую паръ выходитъ въ дымовую трубу, былъ таковъ, чтобы пламя могло доходить до оконечностей трубокъ.

Количество паровъ, производимыхъ въ часъ однимъ квадратнымъ метромъ нагрѣвающей поверхности, равняется 62 километрамъ, во время движенія; 1 километръ кокса обращаетъ въ паръ отъ 5-ти до 6-ти километровъ воды Вообще топливо доставляетъ тѣмъ бо́льшее количество пара, чѣмъ больше поверхность трубокъ въ отношеніи къ поверхности топки. Основываясь на этомъ Стефенсонъ далъ цилиндрической части длиннѣйшую форму, такъ что нагрѣвающая поверхность при тѣхъ же размѣрахъ топки, равнялась почти 75-ти квадратнымъ метрамъ. Но въ такомъ случаѣ паровозъ дѣлался гораздо длиннѣе, и потому нужно было сближать всѣ шесть колесъ подъ цилиндрическою частью, ибо иначе сопротивленіе отъ кривизны желѣзной дороги было бы слишкомъ велико. Въ такомъ случаѣ огневый ящикъ поддерживается посредствомъ рамы на отвѣсѣ. Впослѣдствіи поверхность топки была еще увеличена; въ большихъ машинахъ ее доводили болѣе чѣмъ до 100 квадратныхъ метровъ. Упругость паровъ въ паровозахъ, доходившая сначала только до 3-хъ атмосферъ, теперь достигаетъ 5-ти или 6-ти атмосферъ, а иногда и до 9-ти.

Пары поступаютъ подъ поршни изъ верхней части колпака, для того чтобы уменьшилось количество воды ими увлекаемой; иногда колпакъ помѣщается надъ топкою, а иногда возлѣ дымовой камеры, гдѣ кипѣніе воды менѣе ощутительно, чѣмъ надъ топкою Количество увлекаемой воды составляетъ среднимъ числомъ 23 проц всего количества паровъ, иногда оно доходитъ до 25 и даже болѣе процентовъ.

339. О силѣ паровозовъ.—Въ паровозахъ паръ приводитъ колеса въ движеніе, а машина подвигается впередъ только вслѣдствіе тре-

нія колесъ о рельсы. Еслибы машина задержалась какимъ-нибудь препятствіемъ, то колеса, скользя по рельсамъ, вертѣлись бы на мѣстѣ и не было бы поступательнаго движенія. Понятно, что то же самое имѣло бы мѣсто, еслибы сопротивленіе буксируемаго поѣзда было слишкомъ велико Треніе движущихся колесъ о рельсы пропорціонально тяжести, которую они подымаютъ.

По опытамъ, произведеннымъ Памбуромъ, сопротивленіе, достаточное чтобы колеса не скользили по рельсамъ, равняется $\frac{1}{6}$ части подымаемой ими тяжести, при сухихъ рельсахъ, и уменьшается до $\frac{1}{20}$ при очень сырой погодѣ. Итакъ, тяжесть паровоза имѣетъ большое вліяніе, независимо отъ механической силы, на грузъ, который онъ въ состояніи буксировать Паровозъ (Fusée) Стéфенсона вѣсилъ только 4500 килограммовъ Въ настоящее время тяжесть паровоза простирается обыкновенно отъ 15 до 20 тоннъ въ 1000 килограммовъ; но на двигательныхъ колесахъ лежитъ только часть этой тяжести.

Вычисленіе силы паровозовъ. Можно вычисленіемъ опредѣлить число тоннъ, которое можетъ буксировать паровозъ, при сухихъ и ровныхъ рельсахъ. Изъ опытовъ произведенныхъ Памбуромъ оказывается, что сила, необходимая для приведенія въ движеніе вагона на желѣзной дорогѣ, не зависитъ отъ скорости и равняется $\frac{1}{233}$ его вѣса, т.-е. около 4 килограммовъ на тонну *). Положимъ, что колеса паровоза несутъ тяжесть въ 10000 килогр. или 10 тоннъ; въ такомъ случаѣ машина можемъ производить силу $\frac{10000}{6}$ = 1666 килогр. Поэтому, чтобы представлять одинаковое сопротивленіе на горизонтальныхъ рельсахъ, поѣздъ долженъ бы имѣть тяжесть въ X тоннъ, получаемую изъ уравненія $X = \frac{1666}{4} = 414$, потому-что тяжесть одной тонны соотвѣтствуетъ силѣ 4 килогр. При такомъ отношеніи силы къ сопротивленію бываетъ равновѣсіе, слѣдовательно буксируемая тяжесть должна быть ниже этого предѣла, и тѣмъ ниже, чѣмъ бо́льшая требуется скорость. Впрочемъ нужно замѣтить, что колеса всегда немного скользятъ, такъ что пройденное пространство въ дан-

* Усиліе, потребное для перемѣщенія одной тонны, равняется 16 килограммамъ на гладкой дорогѣ, 30 килогр. на твердой мостовой и 60 килограммамъ на дурной дорогѣ. Эти цифры ясно показываютъ преимущество желѣзныхъ дорогъ.

ное время меньше того, которое получается при умноженіи окружности двигательныхъ колесъ на число оборотовъ, совершенныхъ впродолженіи этого времени. Эта потеря зависитъ отъ состоянія рельсовъ, она очень значительна, когда рельсы мокры, въ такомъ случаѣ говорится, что паровозъ скользитъ.

Чтобы выразить числомъ лошадей силу, которую долженъ имѣть паровозъ для буксированія n тоннъ со скоростію K километровъ въ часъ, нужно вычислить потребную для того силу. Такъ, движущая сила равняется $n \times 4$ килограммовъ, скорость, или пройденное пространство въ 1" $K = \frac{1000}{3600} = \frac{5}{18}$ K метровъ; по этому работа будетъ $\frac{5}{18} K \times n.\ 4 = \frac{10}{9} nK$ Сколько разъ въ этомъ количествѣ будетъ заключаться 75 килогр., столько лошадиныхъ силъ будетъ представлять машина. Изъ этого видно, что сила машины должна быть пропорціональна скорости и буксируемой ею тяжести Если предположить, что тяжесть равняется 100 тоннамъ, а скорость $K = 10$ милямъ или 40 километрамъ въ часъ, то машина должна будетъ имѣть $\frac{17777}{75}$ или около 59 лошадиныхъ силъ.

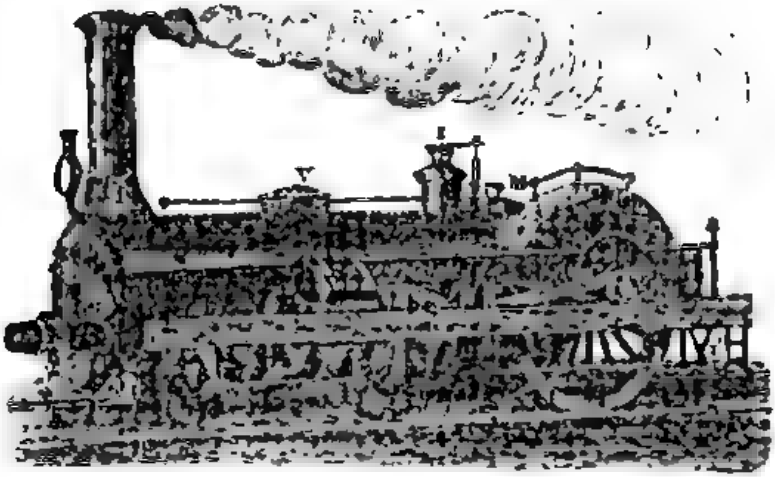
Когда нужно бываетъ буксировать тяжелые товарные поѣзды, или въѣзжать на довольно значительныя отлогости, причемъ сопротивленіе увеличивается, стараются усилить сопротивленіе колесъ съ рельсами. Для этого дѣлаютъ всѣ шесть колесъ одинаковаго діаметра, и приводятъ ихъ въ зависимость отъ тѣхъ колесъ, на которыя дѣйствуютъ поршни, такъ что всѣ три пары колесъ приводятся непосредственно въ движеніе машиною Въ такомъ случаѣ къ оконечностямъ всѣхъ трехъ осей прикрѣпляются одинакіе кривошипы, къ которымъ въ свою очередь прикрѣплены два рычага, передающіе движеніе отъ одной оси двумъ остальнымъ Иногда приспособляютъ такимъ-образомъ только четыре колеса. Для перевозки товаровъ дѣлали паровозы съ малой скоростью, по съ восемью, двѣнадцатью и даже четырнадцатью колесами.

329. Паровозы съ большою скоростью.—Паровозы, назначенные для пассажирскихъ поѣздовъ, гораздо легче товарныхъ, и снабжены двигательными колесами большаго діаметра, чтобы каждому обороту соотвѣтствовало перемѣщеніе на значительное пространство. Но это условіе долгое время не могло быть осуществлено, потому-что ось помѣщается ниже паровика, и по этому нельзя было увеличить діаметра колесъ, не поднявши въ то же время центра тя-

жести машины, что очень вредитъ ея стойкости. Въ 1851 г. Г. Крамптонъ (Crampton) уничтожилъ это затрудненіе, помѣстивши двигательныя колеса сзади паровика.

Паровозы Крамптона. Фигура 217-я представляетъ паровозъ подобнаго устройства. Двигательныя колеса могутъ имѣть болѣе 2 метровъ

Фиг. 217



въ діаметрѣ и доставлять скорость отъ 110 до 120 километровъ въ часъ. Кромѣ-того паровозы эти устроены по новой системѣ, которую мы опишемъ въ общихъ чертахъ. Весь механизмъ находится снаружи, какъ это и представлено на фигурѣ. Въ *V* паръ отводится къ поршню; *v*—распредѣлительный ящикъ, помѣщающійся надъ насосомъ, чрезъ трубку *o* паръ выходитъ въ дымовую трубку; *n*—насосъ, всасывающій посредствомъ трубки *d'* воду, находящуюся въ резервуарѣ тендера; *s*—предохранительный клапанъ; *M*—показываетъ мѣсто кондуктора между двигательными колесами. На фигурѣ видѣнъ рычагъ, сообщающій движеніе колесамъ, и часть паза Стефенсона, посредствомъ котораго приводится въ движеніе золотникъ. Машина содержитъ въ себѣ 120 трубокъ и вѣситъ 26 тоннъ. Кромѣ двигательныхъ колесъ, еще четверо другихъ, мѣньшаго размѣра, помѣщаются спереди. Тяжесть распредѣлена такъ, что двигательныя колеса несутъ 12 тоннъ, а передніи 9. Вслѣдствіе этого, имѣя на себѣ значительную тяжесть, передніи колеса не очень чувствительны встрѣчающимся неровностямъ, и не соскакиваютъ съ рельсовъ, что можетъ случиться, если двигательныя колеса находятся почти подъ центромъ тяже-

сти, такъ-что переднія колеса несутъ незначительную тяжесть. Отъ послѣдняго положенія центра зависитъ и качальное движеніе около линіи, параллельной осямъ и проходящей чрезъ эту точку, облегчаемое гибкостію рессоръ. При этомъ движеніи, извѣстномъ подъ именемъ *галопа*, заднія колеса легко могутъ соскочить съ рельсовъ; оно не существуетъ, когда двигательныя колеса находятся сзади. Наконецъ, при системѣ Крамптона, центръ тяжести можетъ быть легко пониженъ, и весь механизмъ находится снаружи такъ, что даже во время движенія можно видѣть различныя его части, и подлить, куда нужно, масла.

Изобрѣтеніе паровозовъ дѣло по времени новое, потому-что только въ 1829 г. построенъ былъ первый трубчатый паровикъ. Въ 1800 г. на всемъ земномъ шарѣ не было ни одной желѣзной дороги; а теперь въ однихъ только англійскихъ и американскихъ владѣніяхъ считается ихъ до 7,000 миль. Поэтому неудивительно, что съ каждымъ днемъ въ паровозахъ дѣлаются новыя усовершенствованія, и что постройка ихъ представляетъ столько различныхъ системъ. Самые большіе паровозы, которые до сихъ поръ были построены, употребляются въ Англіи, на гранъ-уэстерской желѣзной дорогѣ, гдѣ рельсы раздвинуты другъ отъ друга на гораздо бо́льшее разстояніе, чѣмъ на другихъ желѣзныхъ дорогахъ, именно на 2,134 метра. Мы упомянемъ о машинѣ въ 100 силъ, буксирующей 120 тоннъ, со скоростію 80 километровъ въ часъ. Тяжесть этой машины, ненагруженной,—31 тонна, а при полномъ грузѣ воды и угля прибавляется еще 4 тонны, діаметръ колесъ 2,50 метра, длина машины 7,30 метра. Для товарныхъ поѣздовъ есть еще бо́льшія машины.

330. Пробовали пускать паровозы по обыкновеннымъ дорогамъ. Въ такомъ случаѣ паровозъ имѣетъ только четыре колеса, и передняя ось поворачивается для измѣненія направленія. Но всѣ подобныя машины были очень недолговѣчны; кажется, больше всего ихъ портили толчки, происходящіе отъ неровностей дороги, несмотря на хорошее устройство рессоръ.

Машины съ сжатымъ воздухомъ. Андро́ (Andraut) построилъ и примѣнилъ къ движенію по рельсамъ машины, которыя ходятъ такъ же, какъ и паровозы; только вмѣсто пара въ насосы накачивается сжатый воздухъ изъ желѣзнаго резервуара, находящагося въ машинѣ. Посредствомъ крана, сначала очень мало открытаго, но открывающагося постепенно всё больше-и-больше, получается постоянная

онла отъ газа, котораго напряженіе, по необходимости, постепенно уменьшается. Очевидно, что эти машины не производятъ новой силы, а только воспроизводятъ во время движенія ту силу, которая была употреблена для сжатія воздуха. Это ни что иное, какъ средство сохранять въ резервуарѣ и везти вмѣстѣ съ нею движущую силу машины.

ГЛАВА VII.

Источники теплоты и холода.

331. Теплота, какъ мы уже разъ говорили, не можетъ существовать безъ вещества вѣсомаго; она обнаруживается изъ тѣла, въ которомъ беретъ свое начало подъ вліяніемъ различныхъ причинъ, называемыхъ *источниками теплоты*. Нагрѣтое тѣло сообщаетъ теплоту, лучами или соприкосновеніемъ, окружающимъ предметамъ и такимъ-образомъ временно становится, въ отношеніи къ нимъ, источникомъ теплоты. Всякая же причина, поглощающая, напротивъ того, теплоту окружающихъ тѣлъ, есть источникъ холода. Тѣло, температура котораго очень низка, дѣйствуетъ, слѣдовательно, на окружающіе предметы, какъ источникъ холода. Можно подраздѣлить различные источники тепла на три разряда:

1) Источники постоянные, каковы: солнце, которое испускаетъ потоки лучистаго теплорода, и земной шаръ, который тоже, какъ мы увидимъ впослѣдствіи, имѣетъ свою собственную теплоту, медленно проходящую отъ центра его къ наружной корѣ. Надо упомянуть и о теплотѣ, которую отдѣляютъ нѣкоторыя небесныя тѣла, весьма отдаленныя, какъ напримѣръ звѣзды; однакожъ она такъ ослаблена разстояніемъ, которое должна пройти прежде, чѣмъ до насъ достигнуть, что дѣйствіе ея вовсе неощутительно на землѣ.

2) Источники случайные или искусственные, которые можно привести въ дѣйствіе, по желанію, различными способами. Такъ, напримѣръ, можно заставить тѣло выдѣлять теплоту, или освобождая изъ онаго часть теплорода, находившуюся въ скрытомъ состояніи, или

при помощи механическаго дѣйствія, или же наконецъ заставляя эти тѣла дѣйствовать химически другъ на друга. Вообще, можно сказать, что всѣ способы, которыми измѣняется равновѣсіе частицъ въ тѣлахъ, суть въ то же время способы, возбуждающіе теплоту

3) Жизненныя отправленія, происходящія въ органахъ животныхъ, суть тоже источники теплоты; они производятъ теплоту, которую расходуютъ во время жизни. Наконецъ, есть еще источникъ теплоты, о которомъ мы должны упомянуть, хотя о немъ необходимо говорить въ особенной статьѣ объ этомъ предметѣ — источникъ этотъ электричество.

Чтобъ произвести холодъ, употребляютъ различныя средства, которыя всѣ почти сводятся къ тому, чтобъ обратить часть явнаго теплорода тѣла, въ скрытый. Можно еще охладить тѣло, погрузивъ его въ средину, температура которой ниже его собственной, или подвергнувъ его лучеиспусканию къ окружающимъ его холоднѣйшимъ тѣламъ.

§ I. Искусственные источники теплоты.

I. Дѣйствія механическія.

Главныя механическія дѣйствія, посредствомъ которыхъ можно произвести теплоту, суть треніе, давленіе и всѣ способы, служащіе къ разъединенію частицъ тѣлъ.

332. Треніе. Когда нажимаютъ одну поверхность на другую, шероховатости, которыми онѣ всегда покрыты несмотря на самую тщательную полировку, задѣваютъ однѣ за другія; отсюда происходитъ сопротивленіе, которое обнаруживается, когда трутъ одну поверхность объ другую, тѣмъ сильнѣйшее, чѣмъ шероховатостей болѣе и чѣмъ крѣпче давленіе. Чтобъ треніе имѣло мѣсто, необходимо, чтобы частички, входящія одна въ другую, разъединились; при этомъ, необходимо, верхніе пласты разрушаются, и открываются неровности, обломки которыхъ являются въ видѣ тонкой пыли. Это перемѣщеніе частицъ, близкихъ къ поверхности, сопровождается обыкновенно значительнымъ отдѣленіемъ теплоты. Результатъ этотъ подтверждается безчисленными примѣрами: потирая руку объ руку, согрѣваешь ихъ; если два куска дерева тереть одинъ объ другой, то въ скоромъ времени появляется густой дымъ Этотъ опытъ еще легче повѣрить, приводя деревянное веретено въ вращательное движеніе смычкомъ

уперевъ оное концомъ въ доску. Дикіе такимъ способомъ добываютъ огонь: они вертятъ въ рукахъ заостренный кусокъ крѣпкаго дерева, остріе котораго вставляется въ гнѣздо, выдолбленное въ деревянной доскѣ. Сенека говоритъ, что пастухи въ его время добывали огонь подобнымъ же способомъ, и прибавляетъ, что для этого надо употреблять дерево различныхъ породъ, напримѣръ лавръ и плющъ.

Такимъ-образомъ выдѣлываютъ черные узоры, которые часто встрѣчаются на токарныхъ издѣліяхъ: стоитъ только сильно надавить уголъ деревяннаго осколка на вращающійся предметъ — треніе произведетъ сильное возвышеніе температуры, достаточное для того, чтобъ обуглить дерево и произвести вокругъ вертящагося тѣла черную полосу.

Оси въ машинахъ сильно нагрѣваются, если не употреблять смазки; то же бываетъ и съ осями экипажей, и часто случается, что ступица начинаетъ горѣть при быстромъ и продолжительномъ движеніи. Небольшой кусочекъ фосфора на концѣ сѣрной спички, воспламеняется, если потереть имъ о пробку. Дѣлаютъ весьма удобныя маленькія зажигательницы, состоящія изъ стеклянной или свинцовой трубочки, на дно которой кладутъ кусочекъ фосфору; частичку его отрываютъ концомъ спички, которую желаютъ зажечь

Кремневое огниво Если бить закаленною сталью по кремню, то получатся значительныя искры; это происходитъ отъ сильнаго тренія, которое производитъ значительное нагрѣваніе. Въ этомъ опытѣ мы видимъ, что кремень, при треніи о сталь, отдѣляетъ частички, которыя сильно нагрѣваются и, приходя въ соприкосновеніе съ воздухомъ, загораются. Эти частички, падая на трутъ или порохъ, могутъ оныя воспламенить. Если положить листъ бумаги подъ кремень, которымъ бьютъ по огниву, то можно различить съ помощью микроскопа отдѣлившіяся частички различныхъ видовъ: крошечные угловатые обломки кремня, несгорѣвшія зерна стальныхъ опилокъ, сохранившія свою неправильную форму и, наконецъ, такія частички, которыя совершенно измѣнились, сдѣлались черными и шаровидными; эти послѣднія окислились на счетъ кислорода, находящагося въ воздухѣ, и расплавались. Надо замѣтить, что плавленіе происходитъ не отъ одной только теплоты, отдѣляющейся при треніи, но и отъ той, которая образуется при горѣніи въ воздухѣ. Въ-самомъ-дѣлѣ Гаксби (Howksbée) доказалъ, что въ безвоздушномъ пространствѣ сферическія частички не являются. Гукъ (Hook), кажется, первый

изслѣдовалъ, съ помощію микроскопа, частички, которыя отдѣляются отъ огнива, а объясненіями, нами приведенными, мы обязаны Реомюру. Вмѣсто кремня можно употреблять всѣ тѣла, которыя могутъ рѣзать сталь: напримѣръ фарфоръ, нѣкоторыя глиняныя издѣлія, желѣзный колчеданъ, который Римляне всегда носили съ собою для высѣканія огня, отсюда другое названіе колчедана—*пиритъ* (огненный) Если какое-нибудь тѣло даетъ искру съ огнивомъ, значитъ, оно тверже закаленной стали.

Подобнымъ же образомъ можно себѣ объяснить, основываясь на опытѣ надъ огнивомъ, искры, летящія изъ-подъ подковъ лошадей на мостовой, изъ-подъ инструментовъ на точильномъ колесѣ и пр. Если предварительно не смочить водою бруска, то сталь нагрѣвается и принимаетъ синій цвѣтъ, происходящій отъ того, что отдѣляющаяся отъ тренія теплота уничтожаетъ часть закала. Этимъ способомъ можно нагрѣть стальное лезвее до-красна. До изобрѣтенія предохранительной лампы для рудокоповъ, освѣщали подземныя галереи въ рудникахъ, въ которыхъ иногда встрѣчаются легко воспламеняемые газы, помощью стальнаго, быстро вертящагося колеса, надъ которымъ придѣлывали курокъ кремня, отдѣлявшаго изъ стали цѣлый потокъ искръ. Искры эти, не воспламеняя газовъ, доставляли значительное освѣщеніе.

Когда точатъ желѣзо, напилокъ нагрѣвается, какъ и самыя опилки. Если замѣнить желѣзо сплавомъ сурьмы и желѣза, то каждая отдѣляющаяся частичка воспламеняется, приходя въ соприкосновеніе съ воздухомъ, и при каждомъ движеніи напилка летятъ искры. Замѣтимъ, однакожь, что въ этомъ опытѣ, какъ и въ опытѣ съ огнивомъ, независимо отъ тренія, есть еще ударъ и давленіе, которымъ, какъ мы увидимъ впослѣдствіи, должно приписать часть происходящаго нагрѣванія.

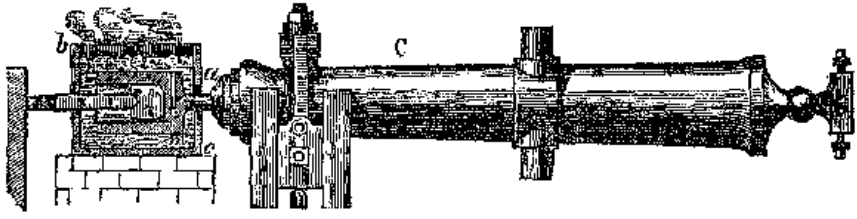
333. О количествѣ теплоты, происходящей отъ тренія. При треніи можетъ отдѣляться неограниченное количество теплоты. До-сихъ-поръ не могли въ точности опредѣлить количество теплоты, отдѣляющейся при треніи двухъ тѣлъ одно объ другое, въ извѣстное время и при данныхъ условіяхъ.

Мы приведемъ нѣсколько примѣровъ, которые покажутъ, что количество это значительно. Дэви (Davy) пробовалъ тереть два куска льда одинъ объ другой, при температурѣ ниже 0°, и достигъ до того, что они растаяли совершенно. Въ этомъ опытѣ, количество отдѣлявшейся теплоты равнялось вѣсу растаявшаго льда, умножен-

ному на 79; вычислить это количество было бы весьма легко, если-бы часть теплоты не пропадала, прійдя отъ соприкосновенія съ воздухомъ и отъ лучеиспусканія.

Мы обязаны Румфорту слѣдующими опытами *). Онъ клалъ горизонтально, только-что вылитую, шести-калиберную пушку C (фиг. 218) на машину, которая должна была просверлить ее и окончить

фиг. 218



ея наружную обдѣлку. Покуда орудіе вертѣлось, онъ отдѣлилъ цилиндрическую часть *m n* изъ излишка, оказавшагося при вершинѣ орудія при отливкѣ, такъ-что часть эта соединялась съ остальною массою только тонкою осью *a*. Потомъ онъ просверлилъ этотъ цилиндръ *n m* до извѣстной глубины.

Въ полученномъ такимъ-образомъ углубленіи, Румфортъ производилъ нагрѣваніе посредствомъ тренія. Для того тупой буравъ, сдѣланный изъ лезвія закаленной стали, надавливали на дно углубленія, всю ширину котораго онъ занималъ. Орудіе C дѣлало 32 оборота въ минуту. Въ одномъ изъ его опытовъ, буравъ, впродолженіи получасо, выточилъ 45 граммовъ бронзовыхъ опилокъ, и термометръ, тотчасъ же за симъ вставленный въ отверзтіе, видимое въ толщинѣ дна цилиндра *m n*, показалъ 54° C, что соотвѣтствуетъ очень высокой теплотѣ, принимая въ разсчетъ массу цилиндра.

Въ другомъ опытѣ, Румфортъ окружилъ водой цилиндръ *m n*. Вода эта налита была въ деревянный ящикъ *b c*, стержень бурава и ось *a* проходили, чрезъ стѣнки ящика, въ окруженныя, смазанною саломъ, кожею отверзтія; по истеченіи двухъ съ половиною часовъ, вода нагрѣвалась до кипѣнія, а ея было до 10 литровъ.

Румфортъ доказалъ во всѣхъ своихъ опытахъ, что отдѣлившіяся опилки имѣютъ ту же теплоемкость, какъ и сама бронза, отъ ко-

*) Essais philosophiques, t. 2, p. 495.

торой онъ произошли. Поэтому освобождающуюся теплоту нельзя приписать измѣненію теплоемкости вещества.

334. Обстоятельства, измѣняющія количество теплоты, возбуждаемой треніемъ. — Количество теплоты, освобождаемой при треніи, зависитъ: 1) отъ рода и состоянія приводимыхъ въ треніе поверхностей, 2) отъ давленія; 3 отъ скорости. Гальдо (Haldot) напечаталъ въ журналѣ Никольсона многочисленные свои опыты по сему предмету *). Аппаратъ, который онъ употреблялъ при производствѣ своихъ опытовъ, состоялъ изъ латунной пластинки вертящейся на своей оси и надавленной на вторую пластинку изъ другаго вещества, пружинной упругость которой можно было измѣнять по произволу. Обѣ пластинки были опущены въ сосудъ, наполненный водою.

Когда неподвижная пластинка была полирована, количество отдѣлявшейся теплоты было вдвое больше, нежели когда поверхность оной была шероховата результатъ котораго невозможно было ожидать. При треніи цинка объ латунную пластинку, отдѣлялось болѣе теплоты, нежели отъ тренія другихъ тѣлъ. При замѣщеніи цинка свинцомъ или латунью, получалось столько же теплоты. Олово отдѣляло 0,78 количества теплоты, даннаго цинкомъ.

Неизвѣстно, какое количество производимой теплоты выпадаетъ на долю каждаго изъ двухъ тѣлъ, производящихъ треніе Количество теплоты, которое поглощаютъ эти тѣла, зависитъ, частью, отъ наружнаго вида ихъ поверхности, отъ способности ихъ поглощать и проводить теплоту, отъ ихъ массы и теплоемкости. Бекерель (Becquerel) удостовѣрился въ томъ, что два тѣла, одинаковаго состава, при треніи другъ о друга одинаковыми поверхностями, нагрѣваются одинаково **). Чтобъ доказать это, онъ быстро ихъ разнималъ и прикладывалъ каждое изъ нихъ къ концамъ термомультипликатора (30) стрѣлка реометра не отклонялась. Когда одна изъ поверхностей была менѣе отшлифована нежели другая, то стрѣлка отклонялась и показывала, что гладкая поверхность была менѣе нагрѣта. Разность зависѣла отъ скорости, съ которою производилось треніе. Для примѣра, упомянемъ объ опытѣ, сдѣланномъ надъ двумя стеклянными кругами, изъ которыхъ одинъ былъ отшлифованъ, а другой нѣтъ; первый нагрѣлся вдвое менѣе, нежели второй.

Вотъ еще нѣсколько результатовъ, которые показываютъ вліяніе

---

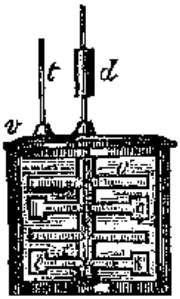
*) Томъ 26, стр. 30.

**) Annales de chimie et de physique, 2 série, t. LXX.

качества употребляемаго вещества: кружокъ бѣлаго атласа нагрѣвается болѣе нежели кружокъ чернаго атласа, о который его трутъ, хотя сей послѣдній имѣетъ болѣе способности поглощать теплоту; стекло при треніи о пробку нагрѣвается болѣе, чѣмъ пробка, а именно, какъ 34 къ 5; если стекло пошлифовано, отношеніе измѣняется въ слѣдующее: 40 къ 7. Отношеніе серебра и пробки равняется 50 : 12; а каучука и пробки 29 : 11.

335. Теплота происходящая отъ тренія жидкостей. Треніе, происходящее отъ теченія воды по твердому тѣлу, производитъ такъ мало теплоты, что ее невозможно замѣтить. Это происходитъ отъ того, что жидкость постоянно перемѣняется и уноситъ съ собою ту малую часть теплоты, которую она успѣла произвесть. Джаулъ (Joule) однако дошелъ до того, что получилъ довольно замѣтное возвышеніе температуры, но онъ дѣйствовалъ на ограниченное количество жидкости *) Въ данной жидкости онъ приводилъ въ вращательное движеніе 16 латунныхъ лопаточекъ *oo* (фиг. 219), которыя проходили чрезъ четыре системы неподвижныхъ перегородокъ *c*, *c*, поддерживаемыхъ латунною рамкою. Эта рамка, въ то же время служила опорой оси вращенія; весь приборъ заключенъ въ мѣдномъ сосудѣ *v*, емкостью отъ 6 до 7 килогр. воды, и съ небольшимъ числомъ точекъ опоры. Въ *d* находится кусокъ дерева, назначенный для того, чтобы удержать теплоту, которая стремилась бы освободиться по проводнику. Джаулъ достигалъ того, что возвышалъ температуру воды на 0°,202 С. Подобные же опыты сдѣланные надъ ртутью, съ чугуннымъ аппаратомъ, дали въ результатѣ до 2°,54. Мы будемъ имѣть случай вернуться впослѣдствіи къ этимъ замѣчательнымъ опытамъ Вращеніе тѣла въ воздухѣ тоже сопровождается отдаленіемъ теплоты; потому-то ядро нагрѣвается всё болѣе-и-болѣе, по мѣрѣ удаленія отъ орудія, которымъ оно брошено.

фиг. 219.



Раскаленіе до-бѣла *аэролитовъ* приписываютъ тоже тренію, которому они подвергаются въ воздухѣ при своемъ быстромъ паденіи.

336. Объ источникѣ теплоты возбуждаемой треніемъ. Количество теплоты, которое можно получить треніемъ двухъ тѣлъ

*) Philosophical transactions, 1850, стр. 61 и Annales de chimie et de physique, 3-me série, t. XXXV.

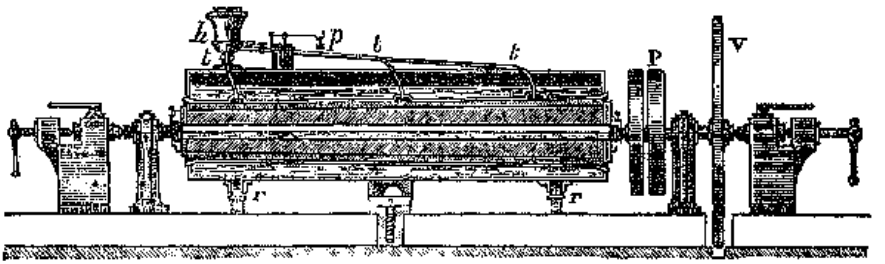
одно объ другое — неопредѣлено. Нельзя его приписывать къ измѣненію теплоемкости, какъ это вытекаетъ изъ опытовъ Румфорта (333). Оно тоже не зависитъ отъ химическаго дѣйствія воздуха на поверхность тѣлъ, производящихъ треніе, потому-что Румфортъ дѣлалъ опыты, устранивъ дѣйствіе воздуха, а Пиктѐ (Pictet) производилъ ихъ подъ колоколомъ пневматической машины, съ помощью маленькихъ металлическихъ стаканчиковъ, заключавшихъ въ себѣ термометръ; часовой механизмъ приводилъ ихъ въ движеніе, заставляя ихъ вращаться, при давленіи на нихъ различныхъ тѣлъ. Вэджвудъ (Wedgwood) накалялъ до-красна кусокъ стекла, надавливая оный на вращающійся точильный камень, очевидно, что здѣсь нѣтъ ни малѣйшаго участія химическаго дѣйствія. Поэтому мы должны необходимо приписать возвышеніе температуры разъединенію частицъ при треніи тѣлъ. Этихъ фактовъ нельзя объяснить по системѣ истеченія, но подводя подъ систему волненій, ихъ понять очень легко.

337. Примѣненіе тренія, какъ источника теплоты. Румфортъ, описавъ вышеупомянутые опыты (331), говоритъ, что теплоту, возбужденную треніемъ, можно съ пользою употребить для варенія пищи; но, однакожь,—прибавляетъ онъ,—экономнѣе было бы, для производства этого нагрѣванія, употреблять, вмѣсто топлива, пищу, назначенную для корма лошади, которая должна приводить въ движеніе машину. Пиктѐ, въ своемъ отчетѣ объ опытахъ, производенныхъ Румфортомъ, замѣчаетъ, что можно получить существенную выгоду, приспособивъ силу воды или вѣтра къ производству тренія. Идея эта нашла примѣненіе въ Америкѣ, гдѣ дошли до того, что топили печи съ помощію двухъ чугунныхъ пластинъ, приводимыхъ въ вращательное движеніе, въ плотномъ соприкосновеніи другъ съ другомъ. Но пластины эти скоро стирались, и потому способъ этотъ стоилъ большихъ издержекъ. Въ самомъ недавнемъ времени, вопросъ о замѣненіи топлива треніемъ былъ разрѣшенъ самымъ удачнымъ образомъ Бомономъ и Мейеромъ (Beaumont и Mayer).

Теплотворный снарядъ Бомона и Мейера. Съ помощью этого снаряда, изобрѣтатели хотѣли преобразовать двигательную силу въ теплоту; эта задача противоположна той, которая разрѣшена паровою машиною. Упомянутый снарядъ состоитъ изъ цилиндрическаго котла (паровика) изъ листоваго желѣза, въ 2 метра длиною, положеннаго въ горизонтальномъ положеніи. Фигура 220-я показываетъ долевой его разрѣзъ, а фигура 221-я поперечный. Паровикъ этотъ вну-

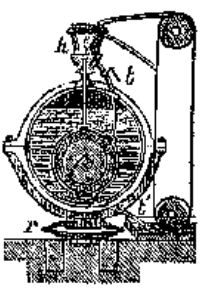
три пересѣкаетъ мѣдная труба, немного конической формы, которая прикрѣплена оконечностями своими къ двумъ основаніямъ паровика.

фиг 220.



Деревянный конусъ, обмотанный пенькой, плотно наполняетъ внутренность трубы, ему сообщается вращательное движеніе посредствомъ безконечнаго ремня, который охватываетъ шкивъ *P*, насаженный на желѣзную ось. Винты съ остріями, на оконечностяхъ этой оси, служатъ для того, чтобы уравнивать давленіе поверхности конуса на внутреннюю поверхность мѣдной трубы. Масло, находящееся въ резервуарѣ *h*, течетъ по трубочкамъ *t*, *t*, *t*, и постоянно смазываетъ поверхность тренія; избытокъ этой жидкости изливается чрезъ трубочку *t'* (фиг. 221). Такимъ-образомъ поверхность тренія весьма мало стирается, и несмотря на то количество отдѣляемой теплоты нисколько не уменьшается.

фиг. 221.



При скорости 400 оборотовъ въ минуту, достаточно нѣсколькихъ часовъ, чтобъ возвысить температуру до 130° въ 400-хъ литрахъ воды, содержащихся въ паровикѣ, что составляетъ давленіе бо́льшее двухъ съ половиною атмосферъ въ образовавшихся парахъ. Паръ этотъ проводятъ чрезъ трубу въ снарядъ, который желаютъ нагрѣть. По словамъ изобрѣтателей, сила добытаго пара равняется одной лошадиной силѣ, въ то время, какъ самъ снарядъ приводится въ дѣйствіе при помощи двухъ лошадиныхъ силъ.

Вездѣ, гдѣ топливо дорого, а двигательная сила въ избыткѣ, машина эта можетъ принести большую пользу; она заключаетъ въ себѣ одно изъ замѣчательнѣйшихъ приложеній теплоты. Когда вспом-

нить, какое огромное количество двигательной силы пропадаетъ даромъ на всевозможныхъ фабрикахъ и заводахъ, то смѣло можно предсказать, что теплотворный снарядъ въ скоромъ времени распространится повсюду.

338. О теплотѣ, которая отдѣляется при разъединеніи частицъ тѣлъ. При разъединеніи частицъ тягучихъ и гибкихъ тѣлъ, возбуждается теплота въ большомъ количествѣ, точно какъ и при треніи.

Напримѣръ, тѣла сильно нагрѣваются, когда ихъ подвергаютъ дѣйствію волочильной или плющильной машины. Если на желѣзную полосу положить тяжесть, которая своимъ вѣсомъ въ состояніи ее разорвать, то на мѣстѣ, гдѣ долженъ произойти переломъ, дѣлается утонченіе, и металлъ въ этомъ мѣстѣ сильно нагрѣвается. Если сгибать по разнымъ направленіямъ желѣзный прутъ, онъ тоже сильно нагрѣвается на мѣстѣ сгиба.

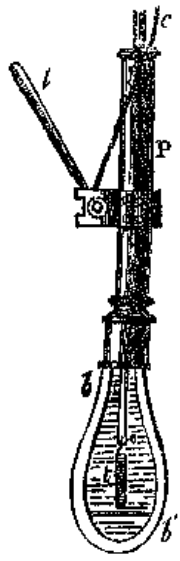
Теплота выдѣляющаяся при ударѣ. Всего легче ударомъ измѣнить положеніе составныхъ частичекъ тѣла; потому этимъ способомъ можно достичь значительнаго возвышенія температуры. Если ударить два раза молотомъ по гвоздю, лежащему на наковальнѣ, такъ чтобы его сплющить въ двухъ различныхъ направленіяхъ, то онъ до того нагрѣется, что можетъ воспламенить трутъ. Кузнецы употребляютъ иногда этотъ способъ для добыванія огня. Если бить усиленными ударами по желѣзной или стальной полосѣ, можно раскалить ее до-красна. Свинцовая полоса, при подобномъ опытѣ, подъ конецъ плавится и разлетается каплями подъ молотомъ.

Это происходитъ безсомнѣнно, главнымъ образомъ, отъ сильнаго тренія, вслѣдствіе котораго частички тѣлъ быстро измѣняютъ взаимное свое положеніе. Мы увидимъ, что это тоже отчасти зависитъ отъ сжатія для тѣхъ металловъ, которыхъ плотность увеличивается вслѣдствіе различныхъ механическихъ дѣйствій, нами перечисленныхъ. Свинецъ, который не подлежитъ подобному измѣненію, отдѣляетъ всю теплоту единственно по причинѣ перемѣщенія составныхъ его частичекъ

330. Теплота отдѣляемая при давленіи.—Сжиманіе отдѣляетъ теплоту, но въ количествѣ ограниченномъ, какъ и самое дѣйствіе сжиманія. Можно сказать вообще, что всякій разъ, когда сближаютъ составныя частицы тѣла, или когда увеличиваютъ его плотность, отдѣляется теплота, между-тѣмъ какъ всякое уменьшеніе плотности сопровождается охлажденіемъ. Законъ этотъ для твердыхъ тѣлъ,

вытекаетъ очевидно изъ опытовъ Бертолѐ, Пиктѐ и Біо *). Эти искусные физики быстро сжимали на станкѣ, назначенномъ для чеканки монеты, золотые, серебряные и мѣдные кружки, такъ приспособленные, что въ ширину имъ нельзя было раздаваться. Сжиманіе сопровождалось возвышеніемъ температуры, наибольшимъ для мѣди и наименьшимъ для золота. Чтобъ опредѣлить это возвышеніе, поспѣшно опускали сдавленный кружокъ въ воду и выводили повышеніе температуры, на основаніи способа смѣшенія жидкостей 230). Всего замѣчательнѣе, что нагрѣваніе уменьшалось съ умноженіемъ ударовъ коромысла. Такимъ-образомъ, при одномъ опытѣ, мѣдный кружокъ, при первомъ ударѣ нагрѣлся на 11°,5, при второмъ на 2°,5, при третьемъ только на 0°,8, послѣ чего уже не было повышенія температуры. Первые три удара сдавили кружокъ и увеличили его плотность; между-тѣмъ какъ сжиманіе, произведенное послѣдующими ударами, было уже не постоянно, такъ что непосредственно за сжатіемъ слѣдовало возвращеніе къ прежнему объему, вслѣдствіе упругости, которое необходимо поглощала теплоту, едва отдѣлившуюся при сжиманіи. Это предположеніе оправдывается тѣмъ, что общій итогъ нагрѣванія кружковъ изъ разныхъ веществъ всегда пропорціоналенъ уменьшенію ихъ объема.

Фиг. 222.



Сжиманіе жидкостей.—Сжимаемость жидкостей весьма незначительна, а теплоемкость ихъ чрезвычайно велика; поэтому едва-ли можно было надѣяться получить возвышеніе температуры при сжиманіи оныхъ. Однакожь Колладонъ и Штурмъ (Colladon и Sturm) достигли нѣкоторыхъ результатовъ съ извѣстными жидкостями **). Приборъ, который они употребили для своихъ опытовъ, состоитъ изъ стекляннаго шара bb' фиг. 222 со стѣнками толщиной отъ 25 до 35 милиметровъ. Во внутрь онаго опущенъ термометръ Брегѐ t, стрѣлка котораго движется по горизонтальному квадранту. Жидкость, которая наполняетъ шаръ bb, можетъ быть вдругъ сильно сдавлена поршнемъ, который вдавливаютъ въ насосъ P, или

*) Mémoires de la société d'Arcueil, t. 2.
**) Annales de chimie et de physique. t. XXXVI. p. 225.

постепенно, съ помощью кружка и безконечнаго винта, или съ помощью рычага *l* (фиг. 222), или же наконецъ ударами молотка по стержню поршня. Когда въ шаръ *bb'* находилась вода, стрѣлка двигалась, какъ-будто при уменьшеніи температуры; но это происходило вслѣдствіе того, что винтообразная проволока термометра состоитъ изъ двухъ различныхъ металловъ, которые неравномѣрно сжимались, потому-что болѣе расширяемый отъ теплоты и болѣе сжимается (166). Давленіе было доведено, по означеннымъ способамъ, до 30 атмосферъ. При опытахъ, сдѣланныхъ надъ алькоолемъ, отклоненіе стрѣлки было не такъ велико, что вѣроятно показываетъ дѣйствіе теплорода, который можетъ отчасти уничтожить вліяніе неравномѣрнаго сжиманія металловъ термометра. Удары молотка казалось даже производили легкое отклоненіе къ возвышенію температуры. Наконецъ, въ сѣрномъ эѳирѣ, жидкости, которая всего болѣе сжимается, удары молотка причиняли отклоненіе стрѣлки, которое показывало возвышеніе температуры отъ 4° до 6°.

Другіе опыты, которые привели къ тѣмъ же самымъ результатамъ, имѣли цѣлью сдавливать жидкость съ помощью воздуха, сдавленнаго 40 атмосферами, въ шарѣ, придѣланномъ къ сосуду *bb'*. Открывая кранъ, давленіе это разомъ дѣйствовало на жидкость.

Малое количество теплоты, которое отдѣляетъ вода при давленіи, объясняетъ согласіе, которое существуетъ между скоростью звука въ водѣ, опредѣленнаго исчисленіемъ, и тѣмъ, которое получали на опытѣ.

Теплота, которую отдѣляетъ тѣло при сжиманіи, вѣроятно происходитъ отъ того, что скрытый теплородъ, который оно заключаетъ, обнаруживается и становится явнымъ. Это предположеніе подтверждаютъ опыты, произведенные надъ газами, большое сжиманіе которыхъ даетъ болѣе значительные результаты.

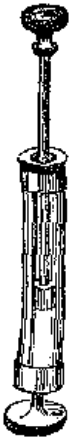
340. Теплота при сжиманіи газовъ.—Мы уже видѣли, что сжиманіе газовъ производитъ теплоту, и показали способъ измѣренія возвышенія температуры, происшедшей отъ даннаго давленія (221). Температуру эту можно возвысить до краснаго каленія. Моле (Mollet), ліонскій профессоръ, доказалъ, что трутъ воспламеняется въ узкомъ проходѣ, которымъ обыкновенно оканчиваются насосы, назначенные для сдавливанія газовъ.

Воздушное огниво.—Воздушное огниво, или пневматическое огниво (фиг. 223), состоитъ изъ металлической или стеклянной трубки

закрытой съ одного конца, въ которой дѣйствуетъ поршень. Если быстро опустить поршень, то отдѣлившаяся теплота можетъ воспламенить трутъ. Необходимо въ ту же минуту вынуть трутъ изъ трубки, а то онъ сейчасъ же гаснетъ. Прежде его клали на дно трубки, которое скоро можно было отвинтить, или въ углубленіе сдѣланное въ кранѣ, придѣланномъ снизу трубки, который открывали, послѣ того какъ поршень былъ опущенъ для того чтобъ вынуть горящій трутъ. Теперь же предпочитаютъ прикрѣплять трутъ въ углубленіи, сдѣланномъ въ концѣ поршня, который по зажженіи вынимаютъ изъ цилиндра. Чтобъ трутъ загорѣлся, необходимо объемъ воздуха уменьшить въ двѣнадцать разъ, что соотвѣтствуетъ возвышенію температуры въ 490°; впрочемъ достаточно и 300°, чтобъ воспламенить трутъ. Дѣло въ томъ, что много теплоты пропадаетъ и поглощается снарядомъ, котораго величина огромна въ сравненіи съ количествомъ воздуха.

Если дѣлать опытъ этотъ въ темнотѣ, наполнивъ трубку кислородомъ, воздухомъ или хлоромъ, то въ ту минуту, когда поршень быстро опускается, замѣчается яркій свѣтъ. Сначала думали, что газы эти имѣютъ способность производить свѣтъ вслѣдствіе сжатія; но Тепаръ доказалъ, что свѣтъ ни что иное, какъ воспламененіе и сгараніе масляныхъ веществъ, которыми покрыты снутри стѣнки трубки, или которыя заключаются въ самомъ газѣ. Когда поршень не смазанъ саломъ и нѣтъ никакого вещества, могущаго воспламениться, свѣта не обнаруживается. Теплота, которая отдѣляется при сдавливаніи газовъ, становится большой помѣхой при употребленіи для этого насосовъ: цилиндры сильно нагрѣваются, кожа на поршнѣ портится совершенно, и почти невозможно превзойти давленіе 25-ти атмосферъ. Чтобы помочь этому неудобству, Реньо предложилъ сдавливать воздухъ сначала немного, потомъ втягивать насосомъ этотъ уже сжатый воздухъ, когда онъ приметъ температуру окружающей среды, снова подвергать его дальнѣйшему сжатію и т. д. Такъ какъ отдѣляющаяся теплота зависитъ отъ увеличенія бывшаго давленія, то всегда можно обойтись безъ слишкомъ большаго возвышенія температуры.

фиг. 223.



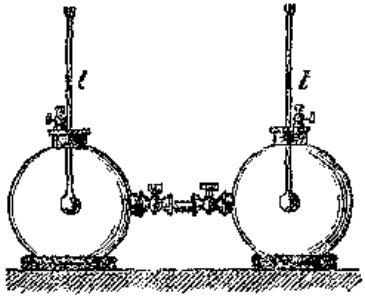
982. Холодъ отъ расширенія газовъ.— Судя потому, что при сжиманіи газовъ температура оныхъ соразмѣрно повышается, можно предполагать, что при расширеніи оныхъ она необходимо должна уменьшаться, потому-что часть явнаго теплорода исчезаетъ и стано-

вится скрытою. На самомъ дѣлѣ, дѣйствительно такъ и случается. Чтобъ убѣдиться въ этомъ, стóитъ только подъ колоколъ пневматической машины поставить термометръ Бреге; какъ только начинаютъ разрѣжать воздухъ, стрѣлка двигается и показываетъ уменьшеніе температуры. Если прекратить дѣйствіе насоса на время, то воздухъ мало-по-малу принимаетъ опять окружающую его температуру, и стрѣлка постепенно приходитъ въ первоначальное положеніе. Если послѣ этого опять впустить подъ колоколъ воздухъ, то стрѣлка покажетъ возвышеніе температуры, потому-что находящійся подъ колоколомъ воздухъ сдавливается вновь входящимъ, что̀ и производитъ теплоту.

Охлажденіе, происходящее отъ расширенія газовъ, объясняетъ слѣдующіе результаты, замѣченные Тригеромъ (Triger): онъ запирался въ комнату, назначенную для больныхъ, которыхъ подвергаютъ дѣйствію сдавленнаго воздуха; когда давленіе достигло одной съ половиною атмосферы, онъ услышалъ шумъ подобный выстрѣлу четырехъ-калиберной пушки, почувствовалъ сильный холодъ, и очутился совершенно въ темнотѣ. Стекло, чрезъ которое проникалъ въ комнату свѣтъ, лопнуло и мгновенное разряженіе воздуха произвело замѣченный имъ холодъ, чрезъ охлажденіе же паровъ, находящихся въ комнатѣ, явился густый туманъ, откуда и замѣченная темнота.

342. Сравненіе дѣйствія расширенія и сжиманія. — Гэ-Люссакъ показалъ на опытѣ, что возвышеніе температуры отъ извѣстнаго давленія равняется пониженію оной при соразмѣрномъ уменьшеніи давленія. На фиг. 224-й изображенъ снарядъ, который употребилъ знаменитый физикъ для этого опыта. Два шара одинаковой величины соединены между собою трубкою которая приводитъ въ сообщеніе боковые ихъ краны Другое отверстіе находится сверху, въ него пропущена трубка воздушнаго термометра $t\ t'$, возлѣ котораго кранъ, служащій для пропуска въ шары газовъ или для выкачиванія воздуха. Одинъ изъ шаровъ наполняютъ газомъ, а другой оставляютъ пустымъ послѣ чего открываютъ краны сообщенія. Тогда въ шарѣ, наполненномъ газомъ, термометръ опускается, а въ пустомъ шарѣ онъ начи-

фиг. 224.



паетъ подыматься. Если опытъ произведенъ тщательно, то легко замѣтить, что оба термометра даютъ результаты равномѣрно противоположные, изъ чего ясно видно, что возвышеніе температуры въ одномъ шарѣ равномѣрно уменьшенію въ другомъ.

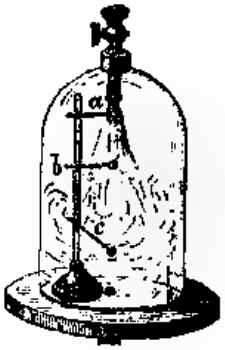
Замѣчали, что эти измѣненія температуры не одинаковы, когда въ шарѣ находятся разнородные газы, подверженные одинаковому давленію Измѣненія значительнѣе съ водородомъ, нежели съ воздухомъ, и менѣе ощутительны съ углекислотой. Разность эта происходитъ отъ различной подвижности газовъ и неодинаковой ихъ способности охлаждаться (178). Водородъ скорѣе сообщаетъ термометру свою температуру, такъ-что вліяніе окружающей средины не такъ скоро уничтожаетъ произведенное дѣйствіе, вслѣдствіе чего термометръ подверженъ сильнѣйшимъ измѣненіямъ.

Слѣдующій опытъ ясно показываетъ равенство между нагрѣваніемъ и охлажденіемъ, происходящимъ отъ одинаковаго сгущенія и расширенія одного и того же газа. Джаулъ погрузилъ въ воду два мѣдныхъ пріемника, изъ которыхъ одинъ пустой, а другой наполненъ воздухомъ, подъ давленіемъ 22-хъ атмосферъ. Послѣ соединенія обоихъ пріемниковъ, давленіе въ каждомъ изъ нихъ оказалось равнымъ 11-ти атмосферамъ, между-тѣмъ температура воды, въ которой они находились, нисколько не измѣнилась. Избытокъ теплоты въ одномъ изъ шаровъ и холода въ другомъ взаимно уравновѣсились.

343. Холодъ въ струѣ газа. — Въ опытѣ Гэ-Люссака можно замѣтить, что термометръ того шара, въ который стремится газъ, начинаетъ опускаться и только спустя минуту показываетъ возвышеніе температуры. Чтобы объяснить это явленіе, обратимъ вниманіе на то, что газъ, который стремится въ шаръ, мгновенно расширяется въ пустотѣ, отъ чего и происходитъ охлажденіе вышеупомянутое. Слѣдующій потокъ воздуха производитъ давленіе на предъидущій, вслѣдствіе чего происходитъ нагрѣваніе. Чтобъ показать эти результаты болѣе нагляднымъ способомъ, проводятъ токъ воздуха сквозь тонкое отверстіе въ пустой пріемникъ, внутри котораго расположены термометры *a*, *b*, *c*, (фиг. 225) на различныхъ разстояніяхъ отъ отверстія. Термометръ *a*, который находится совершенно близко къ отверстію, не показываетъ никакого измѣненія; слѣдующій *b* опускается, а самый отдаленный *c*, скоро начинаетъ подыматься, въ то время, когда второй еще опускается. Въ *a*, газъ еще не расширился, слѣдов. температура его та же, что и наружная; въ *b* онъ уже успѣлъ сильно расшириться, а въ *c* первыя введенныя частицы сдавливают-

ся и сжимаются послѣдующими. Если изъ малаго отверзтія выпускать влажный воздухъ, сдавленный 2-мя или 3-мя атмосферами, то охлажденіе струи газа такъ велико, что, если противоставить ей стеклянный шарикъ, то на поверхности онаго образуется льдинка, происходящая отъ замерзшихъ водяныхъ паровъ. Въ нѣкоторыхъ каменноугольныхъ копяхъ встрѣчаются пустоты, наполненныя газами чрезвычайно сдавленными и влажными. Газы эти со свистомъ вырываются въ маленькія отверзтія, сдѣланныя ломомъ рудокопа, охлаждаются и покрываютъ ледяной оболочкой твердыя тѣла, которыя встрѣчаются на пути.

фиг. 225.



Углекислота принимаетъ твердый видъ, вырываясь изъ сосуда, въ которомъ она была сдавлена 40 или 50-ью атмосферами, вслѣдствіе охлажденія происходящаго отъ ея расширенія (370).

Когда паръ стремится чрезъ маленькое отверзтіе изъ паровика высокаго давленія, онъ охлаждается и сгущается въ видѣ густаго тумана, до того охлажденнаго, что, если держать въ немъ руку на извѣстномъ разстояніи отъ отверзтія, рука не только не обожжется, но почувствуетъ нѣкоторую свѣжесть. Опытъ этотъ легко произвести при помощи Папинова котла (фиг. 226). Если давленіе пара не превосходитъ атмосфернаго, то температура онаго будетъ около 100°, и тогда нельзя свободно держать руки въ струѣ.

фиг. 226.

344. Теплота отъ сгущенія газовъ твердыми тѣлами. Мы видѣли, что газы сгущаются на поверхности твердыхъ тѣлъ. Сгущеніе это, во время самаго дѣйствія, сопровождается отдѣленіемъ теплоты, которая тѣмъ болѣе замѣтна, чѣмъ болѣе величина поверхности поглощающаго тѣла, въ отношеніи къ его массѣ, какъ это бываетъ въ ноздреватыхъ тѣлахъ. Мы замѣчаемъ это при водородномъ огнивѣ, въ которомъ струя газа воспламеняется накаливая кусокъ губчатой платины. Неосязаемые порошки металловъ, какъ напримѣръ губчатой платины, нагрѣвшись могутъ произвести взрывъ, при погруженіи въ взрывную газообразную смѣсь.

*

345. Теплота вслѣдствіе волосности. Пуль̂е доказалъ многими опытами *), что когда капельно-жидкое тѣло смачиваетъ твердое, то отдѣляется теплота. Чтобъ сдѣлать это дѣйствіе болѣе очевиднымъ, надобно тѣло истолочь въ мелкій порошокъ, и опустить въ оный термометръ весьма чувствительный. Термометръ этотъ подымается впродолженіи первыхъ трехъ или четырехъ минутъ, а потомъ понемногу начинаетъ опускаться до окружающей температуры. Пуль̂е подвергалъ изслѣдованію: желѣзо, висмутъ, сурьму. ..,—нерастворимыя окиси кремнеземъ, глиноземъ, магнезію,— окиси цинка, олова, желѣза и проч., стекло, кирпичъ, фарфоръ, глину. Изъ жидкостей употреблены имъ. вода, масло, алькоголь, уксусный эѳиръ, и терпентинное масло. Измѣненія температуры были только отъ 0°,2 до 0°,5, и, казалось, не зависѣли отъ состава тѣлъ.

Нагрѣваніе имѣетъ мѣсто тоже тогда, когда твердыя, органическія тѣла поглощаютъ жидкости. При опытахъ Пуль̂е возвышеніе температуры доходило отъ 2° до 10°, смотря по роду тѣла. Результаты эти нельзя отнести къ химическому дѣйствію, потому-что вода, алькоголь и уксусный эѳиръ, производятъ одинаковое нагрѣваніе, при поглощеніи одинаковыми тѣлами. Изъ твердыхъ испробованныхъ веществъ назовемъ: уголь, крахмалъ, дерево, кору, коренья различныхъ сортовъ, зерна, обращенныя въ муку или просто истолченныя, шелкъ, шерсть, губку, волосъ, китовый усъ, слоновую кость, рогъ, кожи, различныя ткани.

Теплородное дѣйствіе тѣлъ тотчасъ прекращается, когда тѣло смочено или пропитано жидкостью. Это можно приписать сгущенію жидкости близъ смачиваемой твердой поверхности; но также можетъ быть, что часть дѣйствія проистекаетъ отъ тренія жидкихъ частицъ о твердыя, пока эти послѣднія двигаются, для того чтобы прійти въ равновѣсіе.

II. Теплота, освобождаемая при химическихъ соединеніяхъ.

346. При всякомъ химическомъ соединеніи освобождается теплота. Иногда тѣла соединяются при одномъ соприкосновеніи и тотчасъ же освобождается теплота; иногда же соединеніе происходитъ только въ такомъ случаѣ, если часть смѣси доведена до извѣстной степени нагрѣванія

Приведемъ сперва нѣсколько примѣровъ перваго рода соединеній:

*) Annales de chimie et de physique, 2-e serie t. XX.

если смѣшать сѣрную кислоту съ водой, то обѣ жидкости соединяются и сильно разгорячаются. Если осторожно лить воду на баритъ, то можно довести массу до каленія. Всякій знаетъ, что освобождается значительное количество тепла, если ѣдкую известь обливать водою; оба тѣла соединяются при этомъ, и температура до того возвышается, что порохъ вспыхиваетъ въ трубкѣ, опущенной въ нагрѣвшуюся массу. Наливая воду мало-по-малу, можно даже воспламенить мелкія лучинки; обжигальщики извести часто пользуются этимъ способомъ для зажиганія своихъ печей.

Какъ примѣръ втораго рода соединеній, мы приведемъ соединеніе сѣры съ мѣдью: если въ стеклянной колбочкѣ смѣшать эти вещества въ видѣ порошка и мелкихъ стружекъ, то при обыкновенной температурѣ не происходитъ химическаго дѣйствія; если же смѣсь подогрѣть, то сѣра плавится и вся масса вдругъ накаливается, вслѣдствіе выдѣленія теплорода во время соединенія. Наконецъ, сюда относится горѣніе всякаго рода

347. Горѣніе. — Горѣніемъ называется соединеніе тѣла, или его составныхъ частей, съ кислородомъ, когда соединеніе это сопровождается отдѣленіемъ теплоты, доходящей до каленія, т. е., когда при этомъ обнаруживается свѣтъ. Чтобъ произвести горѣніе въ кислородѣ или въ воздухѣ, нужно вообще зажечь тѣло, которое должно горѣть, что производятъ, доводя одну изъ его точекъ до высокой температуры. Подъ вліяніемъ этой температуры начинается соединеніе; образующаяся при этомъ теплота сообщается сосѣднимъ частицамъ, которыя въ свою очередь могутъ соединяться съ кислородомъ, и такъ далѣе. Такимъ-образомъ уголь, дрова, жирныя вещества въ свѣчахъ и лампахъ, продолжаютъ горѣть, разъ что ихъ зажгли

Горѣніемъ обыкновенно доставляется количество тепла, потребное въ промышленности и въ домашнемъ хозяйствѣ. Явленіе, повторяющееся ежедневно въ нашихъ печахъ, было долгое время покрыто непроницаемымъ мракомъ; мало явленій, которыя такъ долго оставались бы необъясненными. Алхимики приписывали горѣніе особому веществу — огню, которое имѣло способность пожирать горящія тѣла, обращая ихъ въ собственный составъ. Въ 1630 году, Жанъ Рей (Jean Rey), французскій медикъ, замѣтилъ, что свинецъ и олово увеличивались въ вѣсѣ при накаливаніи, и объяснилъ это явленіе счастливою мыслью, что металлы при этомъ поглощаютъ воздухъ. Робертъ Гукъ Hooke), въ 1665 году, принималъ горѣніе за раствореніе тѣлъ

въ веществѣ, содержащемся въ воздухѣ, и подобномъ тому, которое выдѣляется при пережиганіи селитры; чтобъ пополнить это объясненіе, ему недоставало только знать, что это за вещество, которое ни что иное какъ кислородъ. Принятая десять лѣтъ спустя Мейовомъ (Mayow), эта теорія была потомъ совершенно оставлена и замѣнена флогистическою системою, предложенною Бехеромъ, около 1700 года, и такъ блистательно развитою ученикомъ его, Сталемъ. По этой системѣ допускалось, что горючія тѣла соединены съ особымъ веществомъ, называемымъ флогистономъ Горѣніе состоитъ въ освобожденіи этого вещества, послѣ чего тѣло становилось неспособнымъ къ горѣнію. При выдѣленіи своемъ флогистонъ находится въ состояніи особаго волненія, что причиняетъ обнаруженіе теплоты и свѣта. Слѣдовательно, свѣтъ и теплота суть только проявленія флогистона. Когда Ньютонъ ввелъ теорію, что свѣтъ особаго рода матерія, то Макеръ (Macquer) признавъ, что флогистонъ ни что иное, какъ та же матерія, присвоенная различными тѣлами. Такимъ-образомъ теплота дѣлалась только принадлежностью свѣта. Подобное воззрѣніе не могло удержаться послѣ открытія скрытаго теплорода, существующаго и въ негорючихъ тѣлахъ, напр. въ водѣ. Тогда химики вообразили себѣ, что флогистонъ ни что иное какъ зеиръ, и увеличеніе въ вѣсѣ, претерпѣваемое тѣлами при горѣніи, объясняли предположеніемъ, что зеиръ имѣетъ вѣсъ отрицательный.

Пристлей, замѣтивъ, что воздухъ служившій для горѣнія, уже не способенъ производить его снова, допустилъ, что флогистонъ, выдѣлившись изъ горящаго тѣла, соединяется съ воздухомъ; а Крофортъ (Crawfort), что во время этого соединенія теплота и свѣтъ вытѣсняются изъ воздуха, откуда и происходитъ обнаруживающееся при этомъ явленіе свѣта и теплоты. Кирванъ (Kirwan) пытался доказать, что флогистонъ ни что иное какъ водородъ: газъ этотъ, содержащійся во всѣхъ горючихъ тѣлахъ, выдѣляется изъ нихъ во время горѣнія и соединяется съ кислородомъ воздуха. Наконецъ, Лавуазьѐ рядомъ убѣдительныхъ опытовъ доказалъ, что горѣніе состоитъ въ соединеніи горящаго тѣла съ кислородомъ воздуха. Онъ показалъ, что если производить опытъ въ замкнутомъ сосудѣ, то кислородъ исчезаетъ, а вѣсъ сосуда не измѣняется. Если сосудъ наполненъ чистымъ кислородомъ, и образующееся послѣ горѣнія тѣло имѣетъ твердое состояніе, то вмѣсто кислороднаго газа образуется пустое пространство. Напримѣръ, подобное явленіе происходитъ при сожиганіи фосфора въ баллонѣ, наполненномъ кислород-

нымъ газомъ; если послѣ того открыть баллонъ подъ водою, то онъ весь наполняется жидкостью. Слѣдовательно, кислородъ исчезъ, соединившись съ фосфоромъ.

Чтобъ ясно высказать роль, какую играетъ кислородъ при сгораніи тѣлъ, часто производятъ слѣдующіе опыты: зажженную свѣчу ставятъ надъ ртутною ванною, подъ колоколъ наполненный воздухомъ; чрезъ нѣсколько минутъ пламя свѣчи блѣднѣетъ и наконецъ тухнетъ, когда подъ колоколомъ остается только немного кислорода, ибо бо́льшая часть его поглощена при горѣніи. Раскаленные уголья также гаснутъ черезъ нѣсколько времени подъ такимъ колоколомъ. Если свѣчу или уголья поставить на тарелку пневматической машины, изъ-подъ колокола которой вытягиваютъ воздухъ, то они тухнутъ тотчасъ же. Когда тѣло горитъ въ атмосферѣ, то воздухъ постоянно возобновляется вокругъ него, вслѣдствіе теченія вверхъ образующихся газообразныхъ продуктовъ горѣнія и горячаго воздуха, приходящаго въ соприкосновеніе съ горящимъ тѣломъ. Если ускорить возобновленіе воздуха тягою, какъ то дѣлается въ печахъ посредствомъ трубъ, или мѣховъ, то горѣніе, какъ всякому извѣстно, происходитъ гораздо быстрѣе.

Въ чистомъ кислородномъ газѣ, горѣніе, естественно, происходитъ гораздо быстрѣе, чѣмъ въ воздухѣ, въ которомъ къ кислороду примѣшивается 0,79 азота. Уголь, фосфоръ, сѣра, зажженные и внесенные въ сосудъ съ кислородомъ, горятъ необыкновенно сильнымъ и яркимъ пламенемъ. Стальная проволока, загнутая спиралью для удобства, и накаленная на концѣ, горитъ съ большимъ блескомъ, разбрасывая во всѣ стороны искры желѣзной окиси. Теплота, освобождаемая при этомъ, столь значительна, что капли окиси могутъ сплавляться со стекломъ на днѣ сосуда, пройдя черезъ слой воды въ нѣсколько центиметровъ.

348. Объ источникѣ освобождающейся теплоты. — Мы въ точности не знаемъ, откуда происходитъ теплота, освобождаемая при химическихъ соединеніяхъ. По теоріи волненій представляютъ себѣ, что движеніе частицъ, пока онѣ стремятся другъ къ другу, чтобъ образовать соединеніе, можетъ сообщить эѳиру колебательное движеніе, причиняющее теплоту. Лавуазьѐ приписывалъ освобождающуюся теплоту переходу въ явное состояніе скрытаго теплорода при сгущеніи кислорода, образующаго при сгораніи твердое тѣло. Но иногда образуются только газообразныя соединенія, въ которыхъ кислородъ не сгущается. Слѣдовательно, объясненіе Лавуазьѐ неудо-

влетворительно, и это одна изъ причинъ, замедлившихъ принятіе его теоріи горѣнія и паденіе флогистической системы. Только въ 1785 году, когда примѣру Бертолѐ, принявшаго ученіе Лавуазьѐ, послѣдовали Фуркруа и Морвò, и затѣмъ большинство химиковъ, яптифлогистическая химія начала брать перевѣсъ. Крофортъ объяснялъ выдѣленіе теплорода тѣмъ, что теплоёмкость образующагося соединенія менѣе средней теплоёмкости соединяющихся веществъ; но нашли, что нерѣдко противоположное имѣетъ мѣсто, а въ такомъ случаѣ долженъ бы происходить холодъ.

Въ курсахъ объ электричествѣ излагаютъ теорію, обязанную своимъ существованіемъ Берцеліусу, по которой образующаяся теплота объясняется дѣйствіемъ электричества между частицами тѣлъ.

349. О пламени. Нѣкоторыя тѣла горятъ пламенемъ. Пламя ни что иное какъ газъ, получившій способность свѣтить подъ вліяніемъ очень возвышенной температуры, бòльшею частью вслѣдствіе соединенія его съ кислородомъ. Внѣ того предѣла, гдѣ происходитъ это соединеніе, газъ уже не свѣтится. Изъ предъидущаго слѣдуетъ, что всякое тѣло, горящее пламенемъ, должно выдѣлять газы, сперва подъ вліяніемъ теплоты, служившей для зажиганія, потомъ отъ нагрѣванія вслѣдствіе самаго горѣнія. Напримѣръ, когда зажигаютъ свѣчу, теплота, сообщаемая свѣтильнѣ, разлагаетъ растительное вещество, изъ котораго она состоитъ; при разложеніи этомъ образуются горючіе газы, которые, соединяясь съ кислородомъ воздуха, производятъ пламя. Рождающаяся при этомъ теплота плавитъ жирное вещество, которое, въ расплавленномъ видѣ, всасывается свѣтильнею, вслѣдствіе волосности. Тамъ оно разлагается жаромъ пламени, образуя газы, которые горятъ въ свою очередь, и доставляютъ теплоту, потребную для того, чтобъ расплавить и разложить въ свѣтильнѣ новое количество жирнаго вещества и т. д.

Можно непосредственно доказать, что всѣ тѣла, горящія пламенемъ образуютъ горючіе газы, если ихъ сильно нагрѣть; поставимъ на огонь колбу съ масломъ, воскомъ, саломъ,—жирное вещество плавится и потомъ приходитъ въ родъ кипѣнія, выдѣляя газъ, который можно зажечь, пропустивъ чрезъ топкую трубочку. Можно также собрать этотъ газъ въ пробирномъ стаканчикѣ надъ ванною, и потомъ зажечь его у отверстія. Образовавшійся такимъ-образомъ газъ состоитъ изъ смѣси различныхъ газовъ, съ преобладаніемъ двуглеводороднаго, маслороднаго газа. Дерево, каменный уголь, обжи-

гаемые въ желѣзныхъ или глиняныхъ сосудахъ, даютъ подобные же результаты.

Разлагая дѣйствіемъ огня каменный уголь и другія органическія вещества, получаютъ газъ, служащій для освѣщенія. Послѣ надлежащаго очищенія, газъ собирается въ обширномъ газометрѣ и оттуда, подземными трубами, проводится къ рожкамъ, гдѣ онъ зажигается. Инженеръ Филиппъ Лебонъ, изобрѣтшій въ 1785 освѣщеніе газомъ, получалъ его перегонкою дерева. Изобрѣтеніе это сначала не имѣло успѣха, и только въ 1810 году, въ Лондонѣ освѣщеніе улицъ газомъ было приведено въ дѣйствіе.

Если сильно дунуть на пламя свѣчи, то горючій газъ разсѣевается въ большой массѣ воздуха и чрезъ то довольно охлаждается для того, чтобъ горѣніе прекратилось. Однако сильно нагрѣтая свѣтильня еще доставляетъ струю газа, которая подымается въ видѣ столбика дыма. Если зажечь этотъ столбикъ при его вершинѣ, то пламя мгновенно распространяется внизъ до свѣтильни, которая такимъ-образомъ снова зажигается, что̀ служитъ доказательствомъ выдѣленія изъ нея горючихъ газовъ.

Взрывныя смѣси.—Если въ какомъ-нибудь сосудѣ приготовить въ надлежащихъ пропорціяхъ смѣсь горючаго газа съ кислородомъ и приблизить пламя къ отверстію сосуда, то воспламененіе распространяется съ необыкновенною быстротою на всю массу и при этомъ происходитъ сильный взрывъ, вслѣдствіе расширенія газообразныхъ продуктовъ горѣнія, температура которыхъ весьма возвышена. Напримѣръ, когда взрываютъ смѣсь кислорода и водорода, внезапно образуются водяные пары, которые вытѣсняютъ сосѣдній воздухъ. Свѣтильный газъ, состоящій изъ углерода и водорода, смѣшанный съ извѣстнымъ количествомъ воздуха, производитъ при приближеніи свѣчи сильнѣйшій взрывъ, вслѣдствіе образованія паровъ воды и угольной кислоты. Нерѣдко приходилось оплакивать горестные случаи отъ образованія подобной смѣси въ замкнутыхъ пространствахъ, освѣщенныхъ газомъ, когда газопроводныя трубы представляли щель. Замѣтили, что подобныя взрывныя смѣси образовывались главнымъ образомъ въ мѣстахъ, гдѣ воздухъ не имѣетъ свободнаго теченія, какъ напр., въ пустыхъ пространствахъ надъ потолками. Чтобъ избѣгнуть этой опасности, газопроводныя трубы прокладываются внѣ стѣнъ комнаты; если и есть щели, пропускающія газъ, то онъ рѣдко скопляется въ достаточномъ количествѣ чтобъ образовать взрывную

смѣсь, по причинѣ постояннаго возобновленія воздуха въ жиломъ покоѣ.

Въ нѣкоторыхъ копяхъ каменнаго угля выдѣляется горючій газъ, одноуглеводородный или горючій болотный газъ, который съ извѣстнымъ количествомъ воздуха образуетъ газообразную смѣсь, легко производящую взрывъ, отъ прикосновенія съ пламенемъ лампы рудокопа. Подобный взрывъ тѣмъ опасенъ, что происходитъ въ большихъ размѣрахъ: рудокопы погибаютъ отъ обжога или удушья, а встрясеніе воздуха нерѣдко производитъ обвалы, которые опаснѣе всего. Дэви, къ которому обратились за совѣтомъ, какъ бы спастись отъ этихъ несчастныхъ случаевъ, предпринялъ рядъ опытовъ, которые повели къ самому удовлетворительному разрѣшенію этого вопроса, основанному на свойствахъ металлическихъ тканей, выдутыхъ Дэви по этому случаю.

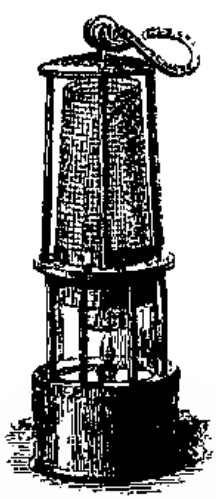
350. Свойства металлическихъ тканей.—Дэви сначала замѣтилъ, что для смѣси изъ осьми частей кислорода и одной свѣтильнаго газа, требовалось болѣе секунды, чтобъ воспламененіе распространилось въ трубочкѣ, съ внутреннимъ діаметромъ 0,63$^{cm.}$, а съ длиною въ 30$^{cm.}$ Въ трубочкѣ, въ 0,36$^{cm.}$ въ поперечникѣ, воспламененіе уже болѣе не распространяется вовсе, лишь бы трубка имѣла длину бо́льшую, чѣмъ ширину. Уолстонъ и Теннантъ (Tennant) еще прежде замѣтили, что взрывныя смѣси не воспламеняются въ тонкихъ трубкахъ. Дэви убѣдился, что въ металлическихъ трубкахъ дѣйствіе это обнаруживается гораздо сильнѣе, нежели въ стеклянныхъ. Сквозь очень тонкія трубочки, сквозь мелкія дырочки, сдѣланныя въ металлической пластинкѣ, воспламененіе не проникаетъ, даже при незначительной ихъ толщинѣ. Наконецъ, металлическая ткань, содержащая отъ 100 до 140 отверстій на квадратный центиметръ, совершенно прерываетъ пламя Чтобъ убѣдиться въ этомъ, стоитъ держать надъ пламенемъ газоваго рожка, спиртовой лампы, свѣчи и т. д., кусочекъ металлической сѣтки; пламя не будетъ переходить за сѣтку. Горючіе газы, однако, проходятъ чрезъ нее, и если ихъ зажечь надъ сѣткою, то они здѣсь продолжаютъ горѣть. Порохъ, обыкновенный или хлопчатобумажный, не можетъ быть воспламененъ чрезъ металлическую ткань, пока она только еще недостаточно нагрѣлась, чтобъ зажечь своимъ прикосновеніемъ. Пропустивъ соломинку, или травку, чрезъ металлическую сѣтку, можно сжечь ее по одну сторону безъ поврежденія ея на другую сторону сѣтки. Изъ металлической ткани дѣлаютъ фонари главнымъ образомъ для употребленія въ сельскомъ хозяйствѣ, которые можно безъ вся-

кой опасности вносить, зажженные, въ мѣста, гдѣ сложены сѣно и солома.

Дэви объяснялъ эти явленія охлажденіемъ, которое сообщаетъ газамъ металлическая проволока сѣтки, какъ отличный проводникъ теплорода. Но объясненіе это недостаточно; ибо металлическая ткань, даже накаленная до-красна, не перестаетъ прерывать пламени, хотя въ такомъ случаѣ только въ слабой степени можетъ охлаждать газы. Кромѣ-того Альдини показалъ, что и ткань изъ волоконъ горнаго льна производитъ то же дѣйствіе, какъ и металлическая ткань, хотя азбестъ есть плохой проводникъ теплоты. Слѣдовательно, этотъ пунктъ требуетъ еще полнаго объясненія

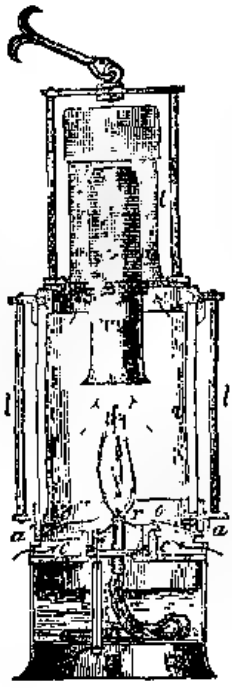
Предохранительная лампа.—Открывъ свойство металлическихъ тканей, Дэви устроилъ предохранительную лампу, безопасно погружаемую въ взрывную смѣсь. Пламя этой лампы окружено стеклянным цилиндромъ, запрытымъ сверху и снизу металлическими сѣтками: чрезъ нижнюю сѣтку входитъ воздухъ, потребный для горѣнія. Когда лампа погружена во взрывную газообразную смѣсь, воспламененіе происходящее внутри не можетъ распространиться далѣе. Фиг. 227-я представляетъ образчикъ лампы менѣе ломкой и болѣе употребительной. Здѣсь пламя совершенно окружено металлическою сѣткою. Внизу находится пріемникъ масла, которое вливается чрезъ боковое отверзтіе. Эта предохранительная лампа (названная благодарными рудокопами *Давиною*) представляетъ то неудобство, что слабо свѣтитъ и, кромѣ-того, немного сильное теченіе воздуха можетъ выгнать пламя внаружу. По этому различные изобрѣтатели старались усовершенствовать эту лампу, и Комбесъ (Combes) придумалъ образцовую предохранительную лампу, въ которой сосредоточены всѣ усовершенствованія, веденныя его предшественниками. Фиг. 228-я представляетъ вертикальный ея разрѣзъ. Надъ цилиндрическимъ пріемникомъ, содержащимъ масло, придѣлано, въ нѣкоторомъ разстояніи отъ него, кольцо *aa* на четырехъ столбикахъ. Двойная металлическая сѣть, въ срединѣ которой проходитъ свѣтильня, лежитъ на внутреннемъ загибѣ кольца. Открытый посрединѣ сводъ *oo* направляетъ къ свѣтильнѣ воздухъ, проникающій сквозь металлическую сѣть. Въ кольцо *aa* ввинчивается обручъ, поддерживающій стеклянный цилиндръ *vv* со стѣнками около центиметра тол-

Фиг. 227.



щиною; верхняя часть цилиндра окружена кольцомъ, поддерживаемымъ желѣзными прутьями *l,l*. Къ этому кольцу привинчивается другой обручъ, пажимающій цилиндръ *v v* и снабженный колпакомъ *t* изъ металлической ткани, чрезъ который освобождаются продукты горѣнія. Труба *T* производитъ тягу и удерживаетъ пламя въ направленіи оси снаряда. Наконецъ, стержень съ двумя крючками *r r* даетъ возможность поправлять свѣтильню, не разнимая лампы. Стержень этотъ пропущенъ сквозь трубку, проходящую чрезъ пріемникъ съ масломъ.

фиг. 228.



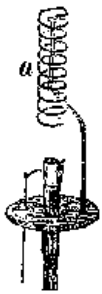
351. Свойства накаленной платины.— Когда предохранительная лампа погружена въ взрывную смѣсь, то часто случается, что внутренній взрывъ гаситъ лампу. Предупрежденный этимъ, рудокопъ долженъ тотчасъ же удалиться изъ атмосферы, вредной для дыханія; но въ темнотѣ ему трудно отъискивать себѣ дорогу. Дэви нашелъ способъ помочь и этому неудобству онъ открылъ, что платиновая проволока, погруженная въ горючій газъ, смѣшанный съ воздухомъ, остается накаленною, поглощая теплоту, выдѣляемую при химическомъ соединеніи, которое продолжается въ прикосновеніи съ ея поверхностью. Чтобы повѣрить это на опытѣ, стоитъ прикрѣпить платиновую проволоку свернутую спиралью надъ кускомъ картона, которымъ прикрываютъ сосудъ съ эѳиромъ. Если платиновую спираль предварительно накалить, то она остается въ накаленномъ состояніи, пока она погружена въ атмосферу паровъ эѳира, смѣшанныхъ съ воздухомъ. Подобный же результатъ получается, если прикрѣпить къ спирали изъ платиновой проволоки кусочекъ камфоры, зажечь послѣднюю, чтобъ накалить проволоку, и потомъ погасить. Если зажечь спиртовую лампу, свѣтильня которой окружена спирально извитою платиновою проволокою, то проволока остается накаленною и послѣ того, какъ лампа потушена, что составляетъ такъ-называемую *лампу безъ пламени*. Серебро и золото даютъ такой же, но не столь вѣрный результатъ; послѣ платины желѣзо самый удобный для сего металлъ.

На этомъ основаніи, Дэви придумалъ устроить въ пламени предохранительной лампы винтообразно-извитую, платиновую проволоку, а

фиг. 229-я, которая остается раскаленною, после того какъ лампа погасла Красная проволока достаточно свѣтитъ, чтобы рудокопъ могъ направляться по ходамъ рудника.

352. Приборъ Альдини. — Приборъ этотъ представляетъ намъ важное примѣненіе металлическихъ тканей. Аппаратъ состоитъ въ особаго рода одеждѣ, которая позволяетъ безвредно проходить черезъ огонь пожара, и даже оставаться въ немъ нѣсколько минутъ. Одежда эта состоитъ изъ металлической ткани, покрывающей все тѣло и отдѣленной отъ него толстою азбестовою, или просто шерстяною тканью. Маска изъ тончайшей металлической сѣтки покрываетъ лицо Что всего удивительнѣе, это то, что среди пламени человѣкъ не задыхается Явленіе это объясняютъ тѣмъ, что воздухъ, проходя черезъ металлическую ткань, охлаждается достаточно, чтобы проникать въ легкія не при слишкомъ высокой температурѣ.

фиг. 229.



353. Свѣтящая способность пламени. — Мы видѣли, что въ газахъ способность испускать теплородные лучи очень слаба, и что испускательная способность пламени очень незначительна, когда въ немъ не заключается твердыхъ частицъ. То же самое имѣетъ мѣсто касательно свѣтоваго лучеиспусканія; не самое горячее пламя имѣетъ наиболѣе блеску, а то, которое содержитъ наиболѣе твердыхъ частицъ. Мы также Дэви обязаны первоначальными свѣдѣніями по этому предмету.

Строеніе пламени. — Разсматривая пламя свѣчи, легко замѣтить, что оно состоитъ изъ трехъ концентрическихъ слоевъ: кнаружи лежитъ тонкій слой *o* (фиг. 230), блѣдно-желтый вверху пламени, синеватый внизу. Слой этотъ едва примѣтенъ; его легче различить въ пламени горящаго спирта, которое менѣе ярко. За этимъ наружнымъ слоемъ слѣдуетъ блестящій слой *b*, издающій сильный свѣтъ. Наконецъ, надъ свѣтильнею и вокругъ ея оконечности, находится темное, кверху съуживающееся пространство *a* Эти три части легко распознаются сквозь металлическую сѣтку, разсѣкающую пламя на-двое въ срединной его части.

фиг. 230

Строеніе пламени легко объясняется. припомнимъ опервa, что газъ, производящій пламя свѣчи, состоитъ изъ углерода и водорода, и что, изъ двухъ, послѣдній имѣетъ

большое сродство къ кислороду Снаружи пламени, гдѣ избытокъ воздуха, оба элемента горючаго газа совершенно сожжены, образовавъ водяные пары и угольную кислоту. Тутъ самая возвышенная температура; уголокъ стекляннаго осколка можетъ сплавиться въ этой части пламени, чегоне бываетъ въ остальныхъ его частяхъ. Въ средній слой проникаетъ только кислородъ, неупотребленный въ наружномъ слоѣ; небольшой остатокъ этого газа идетъ на сгораніе водорода, входящаго въ составъ горючаго газа, а углеродъ, оставшійся свободнымъ, является въ видѣ мелкаго порошка, накаленнаго какъ вслѣдствіе высокой температуры наружнаго слоя, такъ и вслѣдствіе сгоранія, которое онъ претерпѣваетъ поднимаясь въ струѣ горячихъ газовъ къ верхней части пламени, гдѣ встрѣчаетъ воздухъ. Наконецъ, во внутрь пламени кислородъ не проникаетъ, тамъ не происходитъ горѣнія, и темное пространство только наполнено горючими газами или парами жирныхъ веществъ, которые сгораютъ въ верхней части пламени, если только притокъ воздуха достаточно силенъ, въ противномъ случаѣ свѣтильня коптитъ, дымится, распространяя запахъ свойственный жирнымъ веществамъ въ парообразномъ состояніи. Температура этого темнаго ядра, естественно, не высока. Муррей (Murray) вводилъ порохъ въ эту часть пламени, посредствомъ костяной ложечки, и онъ не воспламенялся; онъ даже держалъ въ ней гремучее серебро нѣсколько секундъ, безъ того чтобъ оно вспыхнуло; наконецъ Муррей нашелъ, что и фосфоръ тамъ гаснетъ.

Мы обязаны Порре (Porret) опытами, которые подтверждаютъ только-что сказанное. Вырѣзавъ изъ металлической ткани форму пламени, онъ помѣстилъ ее вертикально надъ свѣтильнею, и замѣтилъ, что она накаливалась на краяхъ. Потомъ онъ увидѣлъ, что въ части ткани, соотвѣтствующей блестящей части пламени, образовался осадокъ угля. Онъ также устроилъ горизонтальную трубочку, вертикально загнутый копчикъ которой погружался въ темную часть пламени, — внутри трубочки онъ нашелъ жирныя вещества, осѣвшія изъ неразложившихся паровъ.

На основаніи вышеизложеннаго, Дэви объясняетъ яркій блескъ пламени, когда при горѣніи образуется твердое тѣло, напр. когда сожигаютъ фосфоръ или цинкъ въ кислородѣ, калій въ хлорѣ. Сгораніе водорода, окиси угля, сѣры, производитъ только слабый свѣтъ, потому-что тѣла эти при горѣніи образуютъ только газообразные продукты. Яркость подобнаго пламени значительно усиливается, если бро-

сать въ него нѣкоторыя тѣла въ порошкѣ, какъ то: окись цинка или очень мелкій азбестъ.

354. Способы получать высокую температуру посредствомъ горѣнія. Температура производимая горѣніемъ, зависитъ отъ различныхъ обстоятельствъ: 1) отъ свойства горящаго тѣла; 2) отъ количества кислорода, притекающаго въ единицу времени; 3) отъ плотности тѣла: одно и то же вещество, сгорая, производитъ тѣмъ бо́льшій жаръ, чѣмъ оно плотнѣе. Поэтому плотнѣйшіе виды угля и дерева даютъ болѣе жару, чѣмъ легкіе сорты угля и дерева; въ первыхъ то же количество теплоты сосредоточено въ мѣньшемъ объемѣ.

Вліяніе количества кислорода. Чѣмъ больше притокъ кислорода къ горючему матеріалу, тѣмъ горѣніе происходитъ быстрѣе, а съ тѣмъ вмѣстѣ и количество теплоты, производимой въ данное время, болѣе, а вслѣдствіе этого температура выше. По этому горѣніе происходитъ въ сжатомъ воздухѣ гораздо быстрѣе, нежели въ атмосферѣ, а въ кислородѣ, всякій знаетъ, съ какою силою сгораютъ тѣла.

На плавильныхъ заводахъ достигаютъ температуры, потребной для возстановленія и плавки металловъ, посредствомъ огромныхъ вдувальныхъ машинъ. Если вдуваемый воздухъ предварительно нагрѣвается, то сила горѣнія необыкновенно увеличивается, такъ-что получаемое дѣйствіе огня превосходитъ всякое ожиданіе Но количество удѣльнаго теплорода газовъ, относительно единицы объема, дѣйствительно такъ невелико, что количество теплоты, поглощаемой холоднымъ воздухомъ, совершенно незначительно; поэтому, въ этомъ явленіи должно видѣть усиленіе химическаго дѣйствія, вслѣдствіе того, что частицы кислорода, будучи нагрѣты, скорѣе и дѣятельнѣе вступаютъ въ соединеніе съ частицами горящаго тѣла. Чтобъ нагрѣть воздухъ, его пропускаютъ, по выходѣ изъ вдувальной машины, въ трубы, помѣщенныя въ печи, нагрѣваемой огнемъ горна, а оттуда нагрѣтый воздухъ проходитъ въ формы.

Девиль (Deville) достигалъ въ кузнечномъ горнѣ температуры, при которой плазится кремнеземъ и улетучивается платина. Онъ употреблялъ для этой цѣли очень плотный уголь, составленный изъ кусочковъ каменнаго угля, падающихъ чрезъ рѣшетку печей. Это топливо насыпается въ полый глиняный цилиндръ, закрытый снизу чугунною пластинкою. Въ пластинкѣ этой находятся отверстія, съ діаметрами въ 10$^{cm.}$ расположенныя по окружности. Черезъ эти отверстія

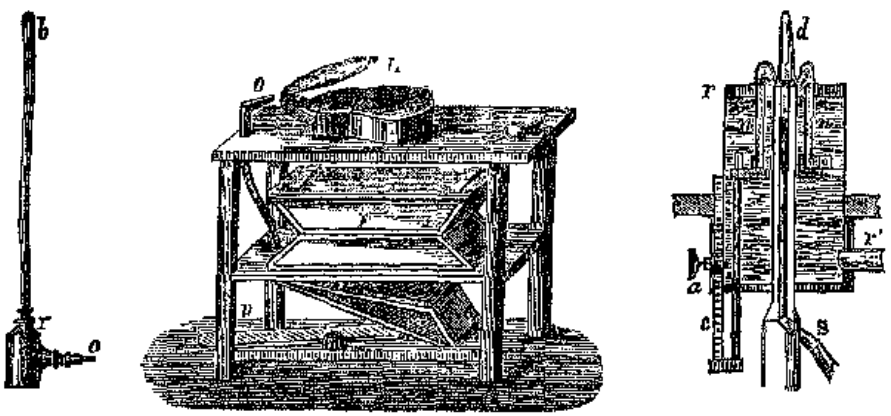
вдуваютъ воздухъ изъ кузнечныхъ мѣховъ. Тигель изъ жженой извести ставится посреди отверзтій; въ нѣсколько минутъ платина въ немъ плавится, и черезъ нѣсколько времени находятъ, на крышкѣ тигля, осѣвшія на ней частички платины, чѣмъ и доказывается, что металлъ улетучивался.

Девиль такимъ же способомъ плавилъ кремнеземъ въ графитномъ тиглѣ.

355. Паяльная трубка. — Пламя достигаетъ очень высокой температуры, когда его усиливаютъ струею воздуха; напр. при помощи паяльной трубки, которая такъ часто употребляется въ минералогіи для распознаванія минераловъ, и въ ювелирномъ искусствѣ для спаиванія серебра и золота. Паяльная трубка состоитъ изъ трубки *b r o* (фиг. 231), въ которую дуютъ ртомъ чрезъ отверзтіе на концѣ *b*; струя воздуха выходитъ изъ весьма малаго отверзтія *o*, *r* представляетъ резервуаръ, въ которомъ сгущается влага, если долго дѣйствовать снарядомъ. Люка (Luca) дѣлаетъ этотъ резервуаръ изъ вулканизированнаго каучука, и устраиваетъ внутри его клапанъ, недопускающій обратнаго теченія воздуха въ ротъ. Каучукъ растягивается во время вдуванія, и дѣйствуетъ потомъ своею упругостью, такъ что получается непрерывная, воздушная струя, даже при неоднообразномъ вдуваніи.

Паяльная лампа. — Въ этомъ снарядѣ, служащемъ для приготовленія издѣлій изъ смягченнаго стекла, струя воздуха доставляется мѣхами постояннаго дѣйствія, приводимыми въ движеніе педалью *P* (фиг. 232) и направляется тонкимъ рожкомъ *o* на пламя

фиг. 231. фиг. 232. фиг. 233.

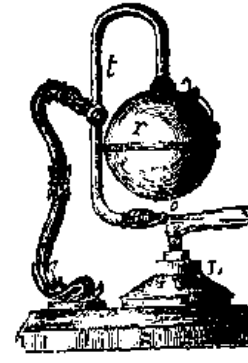


масляной лампы *L*. Надобно копаться довольно долго и имѣть нѣкоторую сноровку, для того чтобъ получить хорошее пламя (dard).

Пеклѐ (Peclet) изобрѣлъ особаго рода рожокъ, съ которымъ можно избѣгнуть означеннаго неудобства. Масло притекаетъ въ резервуаръ rr' (фиг. 233) черезъ трубку r' изъ Маріоттова снаряда, которымъ поддерживается постоянный уровень масла въ r. Свѣтильня nn, состоящая изъ нѣсколькихъ концентрическихъ слоевъ, можетъ подниматься по произволу, при помощи зубчатой полосы c и шестерни a. Струя воздуха проникаетъ въ s и выходитъ посредине свѣтильни n n. Она увлекаетъ съ собою окружающій воздухъ, сообщая ему свое движеніе, чрезъ что происходитъ настоящее всасываніе воздуха, побуждающее пламя направляться къ оси свѣтильни, гдѣ оно встрѣчаетъ струю воздуха и образуетъ огненный конусъ очень возвышенной температуры.

Трубка съ горючимъ паромъ. — Самый давно извѣстный снарядъ такого рода это эолипилъ, употребляемый въ лабораторіяхъ для загибанія трубокъ и другихъ работъ со стекломъ. Фигура 234-я представляетъ одно изъ видоизмѣненій подобнаго снаряда. L представляетъ спиртовую лампу, пламя которой обращаетъ въ пары спиртъ, заключенный въ резервуаръ r. Пары проходятъ по трубкѣ t, освобождаются черезъ отверстіе o, увлекая за собою сосѣдній воздухъ, и отклоняютъ пламя лампы L, горѣніе которой черезъ это значительно усиливается. Существуютъ весьма различныя другія расположенія подобнаго снаряда.

Фиг. 234.



Трубка Ричмонда съ терпентиннымъ масломъ очень дешева и въ то же время весьма удобна для спаиванія драгоцѣнныхъ металловъ и для издѣлій изъ стекла: маленькая масляная лампа кипятитъ терпентинное масло въ небольшомъ мѣдномъ паровомъ котлѣ, закрытомъ сверху. Струя воздуха проходитъ въ терпентинные пары и увлекаетъ ихъ въ трубку, при устьѣ которой ихъ зажигаютъ. Другая струя воздуха притекаетъ трубкою, концентрически обнимающею первую, и, смѣшиваясь съ парами, производитъ сильный жаръ. Оба тока воздуха получаются изъ мѣховъ, приводимыхъ въ дѣйствіе педалью.

Трубка съ водородомъ и кислородомъ. — Высшую температуру, какую только можно получить помощью горѣнія, доставляетъ смѣсь кислорода и водорода въ пропорціяхъ, составляющихъ воду (2 об. водор. на одинъ кисл.). Въ *трубкѣ Гаре* (Hare), оба газа заключены

въ отдѣльныхъ газометрахъ, откуда они, черезъ двѣ особыя трубки, проникаютъ въ одну общую трубку, изъ которой, предварительно смѣшавшись, они освобождаются чрезъ весьма маленькое отверстіе. Краны устроены такимъ-образомъ, что водорода притекаетъ вдвое болѣе, чѣмъ кислорода. Нынѣ часто замѣняютъ газометры мѣшками изъ каучука.

Въ *трубкѣ Ньюмана* (Newman) или *Брука* (Brook), которому принадлежитъ первоначальная мысль, оба газа сдавлены въ томъ же пріемникѣ, при помощи нагнетательнаго насоса. При открытіи крана, газы проходятъ черезъ металлическую трубку, перегороженную во многихъ мѣстахъ кружками изъ металлической ткани, прежде чѣмъ достигнутъ отверстія, у котораго они зажигаются. Кружки изъ металлической ткани не даютъ пламени проникнуть во внутрь газоваго пріемника, отъ чего произошелъ бы страшнѣйшій взрывъ.

При помощи трубки, съ водородомъ и кислородомъ можно расплавлять вещества чрезвычайно тугоплавкія: золото, серебро, платина начинаютъ кипѣть; кремнеземъ, глиноземъ, множество драгоцѣнныхъ камней, даже известь, могутъ быть расплавлены

Столь горячее пламя трубки, со смѣсью водорода и кислорода, едва замѣтно при дневномъ свѣтѣ, потому-что оно не содержитъ твердыхъ частицъ. Если ввести въ пламя такой трубки заостренный конецъ куска извести, который принимаетъ его температуру, то происходитъ столь яркій свѣтъ, что глазъ не можетъ выносить его блеска. Это такъ-называемый *Друммондовъ свѣтъ*

Водородовоздушная трубка.—Пламя этой трубки образуется смѣсью водорода и воздуха. Воздухъ доставляется мѣхами постояннаго дѣйствія, а водородъ снарядомъ, похожимъ на водородное огниво. Оба газа проводятся каучуковыми трубками въ рожокъ, гдѣ они смѣшиваются, прежде чѣмъ достигаютъ отверстія, гдѣ зажигаются. Вслѣдствіе такого устройства можно направить огненную струю на любое мѣсто нагрѣваемаго тѣла Это настоящій *огневой снарядъ*, посредствомъ котораго можно спаивать свинцовыя пластины, сплавляя ихъ края, безъ всякаго промежуточнаго вещества. Этотъ драгоцѣнный снарядъ, изобрѣтенный Ричмондомъ, приноситъ большія услуги въ промышленности.

III. Измѣреніе количества теплорода, освобождающагося при химическихъ дѣйствіяхъ.

356. Изслѣдованіе количества теплорода, освобождающагося при различныхъ химическихъ дѣйствіяхъ, составляетъ одну изъ главнѣйшихъ частей калориметріи, столько же по связи съ многими теоретическими вопросами, касающимися до этого предмета, какъ и по той пользѣ, которую можетъ извлечь промышленность изъ этихъ свѣдѣній, при оцѣнкѣ горючаго матеріала.

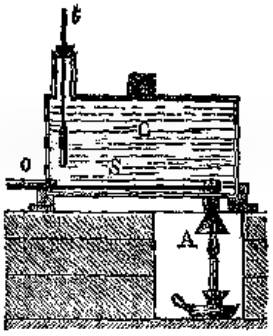
Сначала вниманіе физиковъ было обращено исключительно на процессъ горѣнія. *Теплотворною способностью* горючаго матеріала называютъ число единицъ теплорода, освобождающееся при сжиганіи вѣсовой единицы этого матеріала.

Первыя изслѣдованія надъ теплородомъ, освобождающемся при горѣніи, были сдѣланы около 1780 Лавуазьѐ и Лапласомъ, при помощи ихъ калориметра со льдомъ, въ которомъ они сжигали извѣстное количество, по вѣсу, испытуемаго матеріала. Притокъ воздуха, охлажденнаго до 0°, проходя чрезъ трубку, окруженную тающимъ снѣгомъ, поддерживалъ горѣніе. Газообразные продукты, получающіеся при горѣніи, также приводились къ 0°, проходя чрезъ трубки, окруженныя тающимъ снѣгомъ, и полученная вода присоединялась къ вытекавшей изъ калориметра. Этотъ способъ, столь простой въ теоріи, представляетъ въ практикѣ огромныя трудности и неточности, что̀ можетъ объяснить огромное несогласіе въ цифрахъ, найденныхъ этими искусными наблюдателями и ихъ послѣдователями.

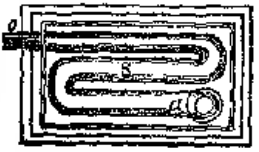
Калориметръ Румфорта.—За изслѣдованіями Лапласа и Лавуазьѐ, возобновленными, при помощи того же аппарата, Крофортомъ (Crawfort) послѣдовали, въ 1814 году, изслѣдованія Румфорта. Особеннаго устройства калориметръ, имъ употребленный, изображенъ на фиг. 235-й. Онъ состоитъ изъ мѣднаго ящика *C*, съ горизонтальнымъ сплющеннымъ змѣевикомъ, котораго разрѣзъ въ плоскости видѣнъ въ *s*, фиг 236. Змѣевикъ выходитъ изъ ящика въ *O*,*o* (фиг. 235 и 236), а на концѣ *A*, *a* оканчивается воронкою, подъ которою сжигаютъ испытуемые горючіе матеріалы. Газообразные продукты горѣнія, медленно проходя въ змѣевикѣ, отдаютъ его стѣнкамъ, поверхность которыхъ весьма значительна въ сравненіи съ поперечнымъ разрѣзомъ, весь избытокъ пріобрѣтеннаго ими теплорода. Ящикъ *C* наполненъ водою, вѣсъ и

температура которой извѣстны. Эквивалентъ калориметра, выраженный въ водѣ, также извѣстенъ; слѣдовательно, повышеніе температуры произведенное извѣстнымъ количествомъ горючаго матеріала, дастъ количество теплорода получеквaго калориметромъ, т.-е., число единицъ теплорода, снабжаемыхъ этимъ матеріаломъ. Температура опредѣлялась термометромъ *t* (фиг. 235), резервуаръ котораго занималъ почти всю глубину воды. Для избѣжанія погрѣшностей, проистекающихъ отъ потери теплорода извнѣ, Румфортъ употреблялъ свой способъ вознагражденія (200), а для того чтобы собирать излишекъ теплоты, который газы могли бы увлекать за собою, выходя изъ змѣевика, Румфортъ пропускалъ ихъ во второй, совершенно подобный змѣевикъ. Брались предосторожности, чтобы весь матеріалъ сгаралъ; для этого дерево разрѣзали на тонкія стружки, подобныя тѣмъ, которыя выходятъ изъ-подъ рубанки столяра. Жидкости вливались въ лампы, которыя взвѣшивались въ началѣ и въ концѣ опыта; разность вѣса давала количество издержанной жидкости.

фиг. 235.



фиг. 236.



Главная причина погрѣшностей при опытахъ Румфорта проистекала отъ потери тепла, вслѣдствіе лучеиспусканія. Твердыя тѣла, лучеиспусканіе которыхъ гораздо значительнѣе лучеиспусканія пламени, не могли дать удовлетворительныхъ результатовъ, и дѣйствительно, Румфортъ былъ принужденъ отказаться отъ измѣренія теплорода, освобождающагося при горѣніи угля. Вторая неточность въ полученныхъ результатахъ проистекала отъ того, что температура, наблюдаемая на термометрѣ, не могла быть строго точна,—слѣдовало бы сильно смѣшивать жидкость, прежде чѣмъ наблюдать температуру.

Гассенфрацъ (Hassenfratz). и Клеманъ-Дезормъ (Clément Desormes) произвели также много изслѣдованій; они употребляли и калориметръ Румфорта и калориметръ Лавуазьѐ и Лапласа.

357. Законъ Вельтера. Вольтеръ (J. I. Welter), въ 1822 *) сличая результаты полученные разными учеными, замѣтилъ, что всѣ они

*) Annales de chimie et physique, 2-me série, t. IX.

клапятся къ подтвержденіе слѣдующаго закона: *тѣла, сгарая на счетъ одинаковаго количества кислорода, освобождаютъ количества теплорода или равныя между собою или кратныя.* Но опыты, произведенные впослѣдствіи, не подтвердили этого закона. Такъ, напримѣръ, изъ опытовъ Дюлонга, которые мы опишемъ далѣе, слѣдуетъ, что количества теплоты, освобождающіяся при горѣніи равныхъ, по вѣсу, количествъ углерода и водорода, относятся между собою какъ 1 : 5, между-тѣмъ какъ количества поглощеннаго кислорода относятся между собою какъ 1 : 3

358. Изслѣдованія Депрэ. Депрэ, по случаю большой работы надъ животной теплотою, увѣнчанной въ 1823 году Парижской Академіей, очень тщательно измѣрилъ теплородную силу углерода и водорода *). Онъ употреблялъ калориметръ, подобный Румфортову, но весьма усовершенствованный. Главнѣйшее измѣненіе состояло въ томъ, что горючій матеріалъ сгаралъ въ сосудѣ, совершенно погруженномъ въ водѣ калориметра, такъ что ни малѣйшая часть тепла не пропадала. Воздухъ или кислородъ впускались чрезъ трубку въ этотъ сосудъ, а продукты горѣнія выходили чрезъ другую трубку, извившуюся, наподобіе змѣевика, вокругъ сосуда Температура газа, при входѣ и выходѣ его изъ сосуда, наблюдалась на двухъ чрезвычайно чувствительныхъ термометрахъ. Четыре мѣшалки служили для сообщенія бо̀льшаго однообразія температурѣ воды въ калориметрѣ.

Потеря теплорода, проистекающая отъ охлажденія извнѣ, вычислялась при помощи закона охлажденія Ньютона. Углеродъ получался разложеніемъ сахара въ тиглѣ, подверженномъ дѣйствію кузнечнаго огня. Жаль, что въ отчетѣ Депрэ не заключается всѣхъ подробностей, которыя были бы такъ важны для полной оцѣнки этихъ замѣчательныхъ опытовъ, которые составляютъ эпоху въ исторіи калориметріи.

Во второмъ своемъ трудѣ, описанномъ въ извлеченіи въ Annales de chimie et de physique **) Депрэ измѣрилъ теплородныя свойства углерода, водорода, фосфора и нѣкоторыхъ металловъ. Онъ нашелъ, что поглощая одинъ граммъ кислорода, водородъ освобождаетъ 2578 единицъ теплорода, углеродъ 2967, желѣзо 5325. Фосфоръ, цинкъ и олово дали почти тѣ же результаты, какъ и желѣзо.

Депрэ заключилъ изъ своихъ изслѣдованій, что количество теплорода, освобождаемое извѣстнымъ тѣломъ,— постоянно, каково бы ни

*) Annales de chimie et de physique, 2-e série, t. XXVI.

**) Annales de chimie et de physique, 2-e série, t. XXXVII.

было давленіе кислорода, когда объемъ газа, получающагося по сгорѣніи, равенъ объему кислорода. Именно, это имѣетъ мѣсто при горѣніи угля: образуется объемъ углекислоты, равный употребленному объему кислорода. Результатъ этотъ подтвержденъ только опытами надъ углеродомъ; но Депрэ считаетъ весьма вѣроятнымъ, что то же должно быть и съ серою и вообще со всѣми тѣлами, при соединеніи съ которыми объемъ кислорода остается неизмѣннымъ. Этотъ ученый полагаетъ, что, напротивъ того, въ другихъ случаяхъ, гдѣ кислородъ переходитъ въ твердое состояніе, соединяясь съ горящимъ тѣломъ, какъ то бываетъ при горѣніи фосфора и металловъ, количества освобождающейся теплоты должны быть тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе давленіе кислорода; различіе состоитъ въ томъ, что кислородъ, для того, чтобы прійти въ твердое состояніе въ образовавшемся сложномъ тѣлѣ, долженъ освобождать тѣмъ бо́льшее количество теплорода, чѣмъ болѣе онъ долженъ сгущаться, то есть, чѣмъ менѣе давленіе, подъ которымъ онъ находится.

Въ слѣдующей таблицѣ мы собрали результаты, найденные различными физиками *):

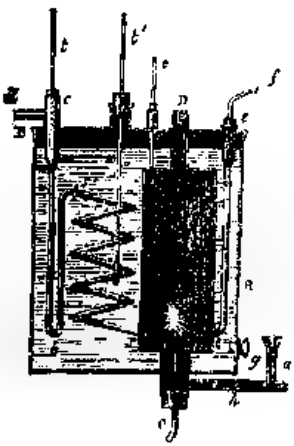
ВЕЩЕСТВО.	Число единиц. теплород. освобожденное 1-мъ грам.	Имя изслѣдователя	ВЕЩЕСТВО.	Число единиц. теплород. освобождаемое 1-мъ грам.	Фамилия изслѣдователя.
Водородъ	23352	Л. и Л.	Оливковое масло	11762	Л. и Л.
	23294	Кл. и Д.		9044	Румф.
	23640	Деп.	Сало	7569	Л. и Л.
Углеродъ	7624	Л. и Л.		8369	Румф.
	5761	Кр.	Бѣлый воскъ	10520	Л. и Л.
	6375	Гас.		9479	Румф.
	7386	Кл. и Д.	Эѳиръ	8030	id
	7915	Деп	Алькоголь въ 42° по Боме	6195	id
Дерево	4314	Румф.	Тоже въ 33°	5261	id
Фосфоръ	7900	Л. и Л.	Нефть	7338	id
Сурѣпное масло	9307	Румф.			

*) Л. и Л. означаетъ Лапласъ и Лавуазье; Кл. и Д.—Клеманъ и Дезормъ; Деп. Депрэ; Кр.—Крофордъ; Гас.—Гассенфрацъ; Румф —Румфортъ.

359. Изслѣдованія Дюлонга (Dulong). Изъ таблицы видно, что существуетъ значительное различіе между цифрами, найденными различными физиками. Потому Дюлонгъ предпринялъ большой трудъ объ измѣреніи теплорода, освобождающагося при горѣніи, но смерть похитила его у науки.

Къ-счастью, онъ сообщилъ нѣкоторые изъ найденныхъ имъ законовъ акад. Гессу въ С.-Петербургѣ; сверхъ-того, въ его бумагахъ найдены нѣкоторые изъ вычисленныхъ имъ результатовъ. Наконецъ Кабаръ (Cabart), бывшій свидѣтелемъ этихъ опытовъ, могъ описать *) устройство калориметра, только внутренняя часть котораго была найдена. По этому описанію составленъ разрѣзъ, изображенный на фиг. 237-й

Фиг. 237.



Испытуемое тѣло заключается въ прямоугольномъ ящикѣ, или камерѣ A для горѣнія, изъ красной мѣди, въ $25^{cm.}$ высоты, $7,5^{cm.}$ ширины и 10 глубины, ящикъ снабженъ крышкою, загнутые края которой погружаются въ жолобокъ, наполненный ртутью. Кислородъ входитъ въ камеру A или трубкою h, помѣщенною въ нижней ея части, или чрезъ трубку o, оканчивающуюся около дна камеры. Эти трубки сплющены и имѣютъ прямоугольную форму, кромѣ устьевъ, которыя имѣютъ цилиндрическую форму. Газообразные продукты горѣнія выходятъ чрезъ четыреугольную трубу $ss'bc$, имѣющую $5^{cm.}$ ширины, которая, сдѣлавъ нѣсколько колѣнъ между s и s', выходитъ въ газометръ Термометръ t показываетъ ихъ температуру. Вся эта часть прибора помѣщается въ ящикѣ BB, наполненномъ водою, которую можно взбалтывать при помощи мѣшалки, стержень которой въ o. Температура этой воды наблюдается на двухъ термометрахъ, одинъ изъ которыхъ виденъ въ t.

Тѣла сжигаютъ въ нижней части камеры A, желѣзо свертывается въ спирали, а другіе металлы въ порошкѣ помѣщаются въ мѣдной или платиновой капсюлѣ. Иныя тѣла при нагрѣваніи слѣпливаются въ комки; для избѣжанія этого ихъ перемѣшиваютъ съ другими тѣлами, не подвергающимися горѣнію. Для зажиганія служилъ тругъ. Такъ какъ этотъ способъ не удавался съ углемъ, то изъ него вытачивали острый конусъ и, уже зажегши конецъ его, вводили въ камеру A

*) Annales de chimie et de physique 3-me série t. VIII.

Газы сжигались въ трубкахъ, оконечность которыхъ была заострена, и величина отверстія измѣнялась, сообразно горючести газа. Неизвѣстно какимъ-образомъ ихъ воспламеняли. Такъ же поступали и съ жидкостями,—онѣ вставлялись въ камеру въ стеклянныхъ трубкахъ, снизу заткнутыхъ, и въ которыхъ плавали кусочки ваты. Трубка *g*, помѣщенная въ одномъ изъ угловъ камеры и закрытая извнѣ стекломъ, дозволяла слѣдить за ходомъ горѣнія.

Потеря теплорода извнѣ избѣгалась посредствомъ методы Румфорта, а количество освобождавшагося теплорода высчитывалось тѣмъ способомъ, который былъ описанъ, когда шла рѣчь о калориметрѣ Румфорта (356).

Изъ нѣсколькихъ рукописныхъ строкъ оставленныхъ Дюлонгомъ, оказывается, что онъ подозрѣвалъ существованіе чрезвычайно простаго отношенія между удѣльнымъ теплородомъ тѣлъ и количествомъ теплоты, освобождающимся при ихъ соединеніи съ одинакимъ количествомъ кислорода.

360. Законы относительно сложныхъ горючихъ матеріаловъ. По поводу трудовъ этого знаменитаго физика были поднятыя слѣдующіе два важные вопроса:

1. Количество освобождающагося теплорода одно ли и то же, когда простое тѣло, сгарая сразу, достигаетъ высшей степени окисленія, и когда оно предварительно проходитъ низшія степени окисленія? Это равенство имѣло мѣсто въ большей части случаевъ, и мы вскорѣ увидимъ тому доказательство; такъ, напримѣръ, одинъ граммъ угля, для того чтобы перейти въ углекислоту, освобождаетъ количество теплорода совершенно равное тому, которое получалось бы, еслибъ та же масса угля перешла въ окись углерода, сложенному съ тѣмъ количествомъ, которое освободила бы эта окись, сгарая и образуя углекислоту.

2. Количество теплорода, освобождающееся при горѣніи сложнаго тѣла, равняется ли суммѣ количествъ теплорода, которыя получились бы при сгараніи всѣхъ элементовъ отдѣльно? На основаніи цифръ, найденныхъ Дюлонгомъ, вопросъ этотъ разрѣшается отрицательно. Всего чаще количество теплоты, освобождаемое сложнымъ тѣломъ, менѣе сказанной суммы. Мы вскорѣ возвратимся къ этому важному вопросу.

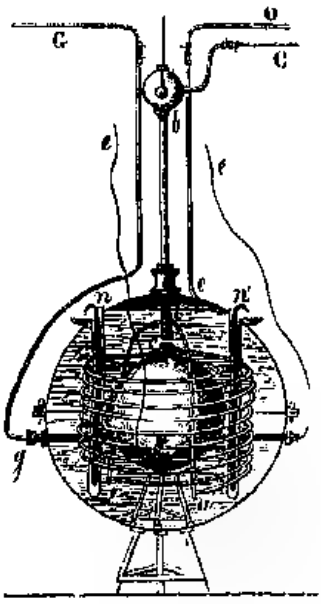
Вотъ таблица главнѣйшихъ результатовъ, найденныхъ въ рукописяхъ Дюлонга, за единицу теплорода принято количество теплорода, достаточное для повышенія одного грамма воды на одинъ градусъ.

НАЗВАНІЕ веществъ.	Теплота производимая			ПРИМѢЧАНІЯ.
	1 литромъ при 0° и 76 сантиметрахъ.	1 граммомъ вещества.	1 литромъ кислорода	
Водородъ.....	3106,6	34601	6212	Средній выводъ изъ 5-ти опытовъ.
Водородъ *сгарая* въ азотистой окиси.. .	5220,7	»	»	Образуется азотистая кислота.
Болотный газъ	7587,7	»	4793	Средній выводъ изъ 3-хъ опытовъ.
Окись углерода.....	3130,3	»	»	Былъ смѣшанъ съ равнымъ объемомъ водорода—3 опыта.
Id. въ азотистой окиси	5549	»	»	Образуется азотистая кислота.
Маслородный газъ....	15338	»	»	Средній выводъ 5-ти опытовъ.
Синеродъ....	12270,3	»	»	Образуется азотистая кислота—3 опыта.
Алькоголь.....	14375,5	7087	»	Средній выводъ изъ 2-хъ опытовъ.
Эѳиръ.....	33353	9431	»	Средній выводъ изъ 2-хъ опытовъ.
Терпентинная эссенція	70607	10836	»	
Оливковое масло.....	»	9862	»	
Уголь.....	7858	7295	»	Дюлонгъ предполагаетъ что углекислота содержитъ 1 объемъ кислорода и ½ объема паровъ углерода сгущен. въ 1 объемъ.
Сѣра.....	»	2601	»	Получается безводная сѣрная кислота.
Желѣзо.....	»	»	6216	Средній выводъ изъ 2-хъ опытовъ.
Олово	»	»	6508	Средній выводъ изъ 3-хъ опытовъ.
Закись олова.....	»	»	6477	Дюлонгъ полагаетъ, что образовалось соединеніе закиси съ окисью.
Мѣдь	»	»	3722	Средній выводъ изъ 3-хъ опытовъ.
Закись мѣди.....	»	»	3130	Одинъ опытъ.
Сурьма	»	»	5481,6	Получилась сурьмяная кислота. Средній выводъ изъ 5-ти опытовъ.
Цинкъ.....	»	»	7576,6	Средній выводъ изъ 3-хъ опытовъ.
Кобальтъ.....	»	»	5721	Одинъ опытъ.
Никкель.....	»	»	5333	Одинъ опытъ.

Достойно замѣчанія, что результаты, найденные Дюлонгомъ, значительно разнятся отъ тѣхъ, которые были найдены предшествовавшими ему физиками; особенно значительна эта разница для водороднаго газа. Несмотря на довѣріе, которое весьма справедливо можно питать къ такому опытному и добросовѣстному физику, какъ Дюлонгъ, неизвѣстность употребляемаго имъ метода и неоконченность предпринятаго имъ труда, заставили признать необходимость новыхъ изслѣдованій по этому предмету. Въ 1841 году Тулузская Академія Наукъ представила на конкурсъ изслѣдованіе о количествѣ теплорода, освобождаемомъ при горѣніи, а Парижская Академія представила, въ 1842 году, болѣе общій вопросъ, объ измѣреніи теплорода, освобождающагося при химическихъ дѣйствіяхъ. Этотъ двойной вызовъ породилъ много замѣчательныхъ трудовъ, въ которыхъ мы должны дать отчетъ

361. Опыты Дорiака и Сахюнье (Dauriac et Sahuqué). Калориметръ, служившій для этихъ опытовъ, состоялъ изъ двухъ концентрическихъ шаровъ изъ тонкой мѣди (фиг. 238) Внѣшній шаръ

Фиг. 238.



имѣетъ 30 сантиметровъ въ поперечникѣ; онъ состоитъ изъ двухъ полушарій, свинченныхъ по большому горизонтальному кругу. Внутренній шаръ, или камера для сжиганія, имѣетъ 15 сантиметровъ въ діаметрѣ, онъ также состоитъ изъ двухъ, свинченныхъ между собою, частей Шовъ, гдѣ сходятся полушарія, проложенъ бумагою, напитанною масломъ. Въ камерѣ помѣщается платиновая сѣтка, на которой кладутъ испытуемое тѣло, если оно твердое или жидкое. Промежутокъ между шарами вмѣщаетъ 15 килогр воды

Изъ верхней части *c* камеры начинаются два змѣевика, сообщающіеся съ трубами *r t*, *a t*, и отводящіе продукты горѣнія въ трубку *t b*, потомъ въ трубку *C*, чрезъ которую они проходятъ въ газометръ. Термометръ, помѣщенный въ стеклянномъ шарѣ, показываетъ ихъ температуру, при выходѣ въ *b*.

Кислородъ проникаетъ въ камеру чрезъ трубку *O o*. Газъ этотъ

получается изъ калиброваннаго газометра; на пути онъ высушивается и очищается, проходя чрезъ трубки, въ видѣ буквы *U*, наполненныя соотвѣтствующимъ веществомъ. Когда горючій матеріалъ газообразенъ, онъ впускается чрезъ трубку *G g*. Горизонтальная часть *g* входитъ въ короткую, оправленную пробкою, трубку внѣшняго шара Трубка *Oo* представляетъ, въ нижней своей части, точно такое же устройство.

Для зажиганія горючаго матеріала употребляютъ электричество; двѣ платиновыя проволоки *e e'* проникаютъ во внутреннюю камеру, чрезъ двѣ стеклянныя трубки, заключенныя въ двухъ мѣдныхъ трубкахъ, и расположенныя точно такъ, какъ газоотводныя. Эти платиновыя проволоки соединяются въ камерѣ съ двумя угольными конусами, прикрѣпленными къ стеклянной пластинкѣ такимъ-образомъ, что концы ихъ соприкасаются Если внѣшнія оконечности проволокъ соединить съ противоположными полюсами гальванической баттареи, то вершины конусовъ накаливаются и зажигаютъ испытуемый матеріалъ

Температура воды въ калориметрѣ опредѣляется въ каждый данный моментъ тремя термометрами; одинъ изъ нихъ обыкновенный, съ длиннымъ резервуаромъ, другіе два *n*, *n'* вѣсовые (18, Всѣ три инструмента погружены въ желѣзныя трубки, наполненныя ртутью и припаянныя своимъ внѣшнимъ концомъ къ закраинѣ отверстій сдѣланныхъ во внѣшнемъ шарѣ. Наконецъ шаръ утверждается на трехъ хрустальныхъ ножкахъ, въ искусственной продолговатой пазухѣ. Постоянная струя холодной воды протекаетъ въ промежуткѣ между двумя чахлами, составляющими ея перегородки, а въ крышкѣ находится большое отверстіе, чрезъ которое проходятъ всѣ трубы калориметра.

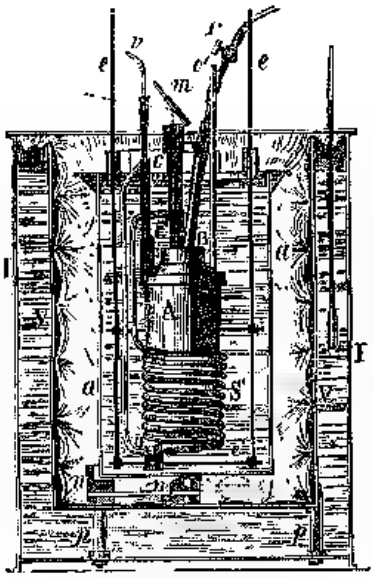
Потеря тепла, вслѣдствіе лученеспусканія, или вслѣдствіе соприкосновенія съ воздухомъ, вычисляется помощью Ньютонова закона охлажденія

362 Изслѣдованія Фавра и Зильбермана. Самыя полныя изслѣдованія надъ количествомъ теплорода, освобождающимся не только при горѣніи, но и при химическихъ дѣйствіяхъ вообще, суть безъ сомнѣнія опыты Фавра и Зильбермана, предпринятые въ 1844 году и преслѣдованные съ замѣчательнымъ постоянствомъ и изобрѣтательностью *) Фиг 239 изображаетъ разрѣзъ калориметра, который они

*) Annales de chimie et de physique. 3 serie, tome XXXIVI

употребляли при большей части своихъ опытовъ, особенно при опытахъ надъ быстро сгарающими тѣлами; *a a*—собственно калориметръ,

фиг. 239.



вмѣстимость его 2 литра; онъ наполненъ водою, которую взбалтываютъ при помощи снаряда *e e e*, приводимаго въ движеніе часовымъ механизмомъ. Мѣдный чахолъ этого калориметра посеребренъ, для того, чтобы ослабить лучеиспусканіе Въ верхней его части, снаружи, находится жолобокъ, для того, чтобы въ немъ собиралась вода, которая можетъ перелиться при взбалтываніи или увлечься дѣйствіемъ волосности между бортами самаго сосуда и его крышкою.

Въ крышкѣ находятся три отверзтія,—два для стержней *e*, *e* мѣшалки и одно для термометра. Въ срединѣ находится большое отверзтіе, служащее для введенія въ приборъ камеры A.

Калориметръ *a a* помѣщается въ цилиндрическомъ сосудѣ *V V*, высеребренномъ снутри. Промежутокъ между двумя сосудами занятъ лебяжьею шкуркою, обращенною пухомъ къ калориметру, для препятствія свободному теченію воздуха. Калориметръ утвержденъ на четырехъ ножкахъ изъ пробки *n n*, сообщающихся посредствомъ стеклянныхъ трубокъ и лежащихъ на шкуркѣ.

Послѣдній чахолъ *J J* заключаетъ въ себѣ воду, предназначаемую для устраненія вліянія внѣшней температуры, въ эту воду погруженъ термометръ. Наконецъ, картонный кружокъ, подбитый пухомъ, прикрываетъ весь приборъ. Кружокъ этотъ снабженъ соотвѣтствующими частямъ прибора отверзтіями, и можетъ разниматься по діаметру.

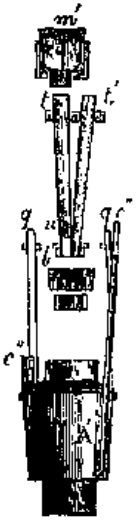
На фиг 242, въ *C*, представленъ весь аппаратъ калориметра и его оболочекъ, утвержденный на деревянной подставкѣ, которая сама лежитъ на металлическомъ подносѣ, снабженномъ подъемными винтами Къ этому подносу придѣланы три металлическихъ столбика, поддерживающіе треугольную пластинку, просверленную нѣсколькими дирами, куда вставляются термометры. *O* привѣсъ, который приво-

дитъ въ движеніе часовой механизмъ, дѣйствующій, чрезъ посредство рычага *nm*, на мѣшалку.

Камера *A* (фиг. 239), въ которой происходитъ сожиганіе, сдѣлана изъ тонкой вызолоченной мѣди. Разрѣзъ ея видѣнъ въ *A'* (фиг. 240); она снабжена привинчивающеюся крышкою съ тремя стержнями *qq'*.. служащими для прикрѣпленія ея къ крышкѣ калориметра *aa* (фиг. 239), и дозволяющими опускать камеру до желаемой глубины.

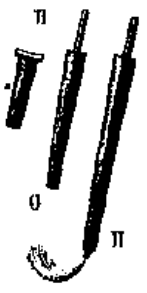
Кислородъ входитъ въ камеру чрезъ трубку *o' o'* (фиг 239 и 240); продукты горѣнія входятъ при *c* въ мѣдный змѣевикъ *S*, имѣющій 2 метра длины, и выходятъ чрезъ трубку *cv*. Въ *o* находится небольшой сосудъ, въ которомъ скопляются сгустившіеся пары: его можно развинчивать, чтобы извлекать содержащуюся въ немъ жидкость. Змѣевикъ вынимается вмѣстѣ съ трубкою *c c'*, которая входитъ въ короткую трубку *c'*, изображенную отдѣльно въ *c'* (фиг 240

фиг 240.



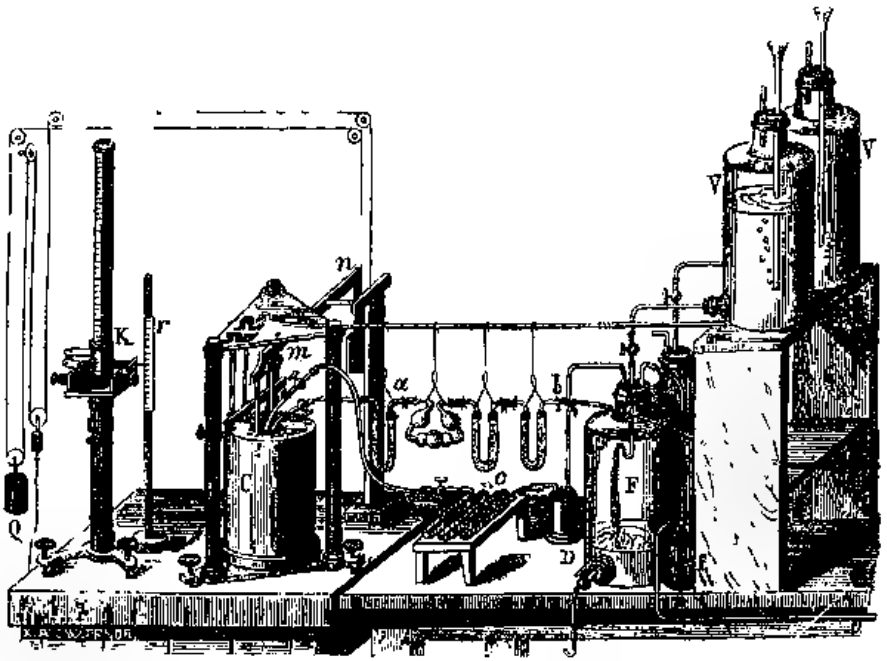
Твердые и жидкіе горючіе матеріалы помѣщаются въ низшей и самой узкой части камеры *A'* (фиг. 240), и заключаются въ различныхъ маленькихъ металлическихъ сосудахъ, приспособленныхъ къ ихъ свойствамъ. Такъ какъ эти вещества болѣе или менѣе летучи, то не безполезно погружать эти сосудцы въ небольшое количество воды, заимствованной изъ калориметра. Они прикрѣпляются къ притертой пробкѣ *b* посредствомъ устройства, сходнаго съ тѣмъ, которымъ штыкъ прикрѣпляется къ ружью (фиг. 245). Пробка *b* (фиг 240) служитъ для закрытія верхняго отверстія камеры, въ верхней ея части вдѣланы двѣ короткія трубки *t,t'*. Средняя трубка *t* служитъ для управленія пробкою: она закупорена прозрачною, но не теплопрозрачною массою, состоящею изъ кружковъ квасцоваго, кварцеваго и стекляннаго. Сквозь эти кружки можно слѣдить за ходомъ горѣнія посредствомъ небольшаго зеркальца *m*, *m'* (фиг. 239 и 240), наклоненнаго подъ угломъ 45° и отражающаго горизонтально свѣтовые лучи. Трубка *t'* (фиг. 240) принимаетъ въ себя заостренную трубочку (фиг. 241), доставляющую газъ, который слѣдуетъ сжигать, или трубочку *O* служащую для снабженія кислородомъ, или наконецъ пробку *B*, если не требуется вводить въ камеру ни того, ни другаго газа.

фиг. 241.



Приборъ въ совокупности. — Фигуры 242 и 243 представляютъ приборъ въ полномъ сборѣ. Кислородъ образуется въ ретортѣ *O* (фиг. 243), промывается въ стклянкѣ *f* и входитъ въ газометръ или резервуаръ *R*; оттуда, чрезъ трубку *o''o'oo* (фиг. 243 и 242), проходитъ въ большую стклянку *F* изъ которой выпускаютъ воду чрезъ кранъ, находящійся въ нижней ея части. Прежде чѣмъ газъ достигаетъ этой стклянки, онъ проходитъ чрезъ воду въ маленькой стклянкѣ *f'*, снабженный предохранительною трубкою, служащею въ то же время мѣ-

фиг. 242.



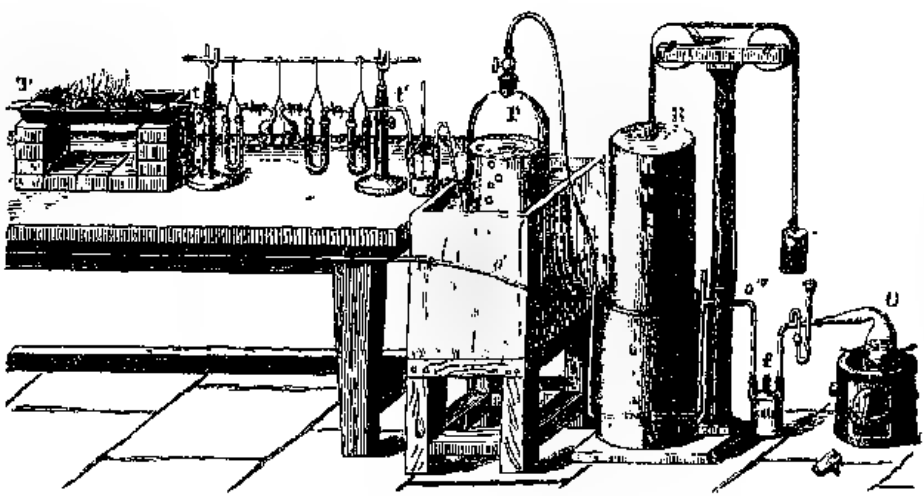
риломъ давленія. Сосудъ *F* служитъ газометромъ-регуляторомъ, предназначеннымъ для снабженія калориметра постоянною струею кислорода. Газъ этотъ вытѣсняется водою, притекающею изъ Марріоттова сосуда *V* (фиг. 242). Вода эта прокипячена предварительно, для удаленія воздуха. Когда требуется, чтобы кислородъ былъ совершенно сухъ, его пропускаютъ чрезъ стклянку *D*, наполненную крѣпкою сѣрною кислотою, а потомъ чрезъ трубки въ видѣ буквы *U*, представленныя въ *c* и наполненныя одна пемзой, смоченною сѣрною кислотою, другія кусками нережженаго ѣдкаго поташа. За со-

судомъ F видѣнъ второй, точно такой же сосудъ, также сообщающійся съ Маріоттовымъ приборомъ, эта часть прибора предназначается для горючихъ газовъ, которые могутъ быть приводимы въ прикосновеніе съ водою. Когда газы должны получаться совершенно сухіе, ихъ пропускаютъ чрезъ приборы, сходные съ тѣми, въ которыхъ высушиваютъ кислородъ. Газы, которыхъ нельзя собирать надъ водою, заключаются въ каучуковые мѣшки, сдавливаемые тяжестями.

Газообразные продукты горѣнія проходятъ чрезъ трубки $a\ b\ T\ t\ t'$, и въ нихъ отчасти поглощаются. Непоглощенная часть проходитъ вмѣстѣ съ излишкомъ кислорода подъ колоколъ P, погруженный въ воду, и впослѣдствіи или снова употребляется въ дѣло, или подвергается анализу.

Температура калориметра опредѣляется термометромъ, показанія котораго замѣчаютъ посредствомъ катетометра K. Для избѣжанія ошибокъ при наблюденіяхъ, къ трубкѣ катетометра придѣлана стрѣлка скользящая по дѣленію r, совершенно одинаковому съ дѣленіемъ на термометрѣ. Трубки этого термометра и термометра погружен-

фиг. 243.



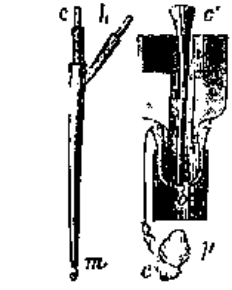
наго во внѣшній сосудъ прибора, неподвижно скрѣплены между собою посредствомъ горизонтальной перекладины, которая видна налѣво надъ калориметромъ (фиг. 242), и посредствомъ скобокъ, имѣющихъ форму мостиковъ, придѣланныхъ къ верхней треугольной пластинкѣ и въ которыя упираются оконечности этихъ трубокъ.

Поправка относительно потери теплорода извнѣ, производилась весьма просто. Такъ-какъ температура калориметра не превышала, болѣе чѣмъ на 10°, температуру окружающаго его слоя воды, то можно было примѣнять законъ Ньютона. Изъ предварительныхъ опытовъ было выведено, что пониженіе температуры калориметра равнялось 0°,002 въ минуту, когда температура калориметра превышала температуру окружающей воды на 1°, и потому достаточно было, каждую минуту, наблюдать эту разность температуръ. Этотъ излишекъ температуры калориметра, умноженный на 0,002, показывалъ пониженіе температуры, испытываемое калориметромъ втеченіи каждой минуты, вслѣдствіе потери теплорода извнѣ, откуда заключали о пониженіи, испытанномъ впродолженіи всего опыта. Это пониженіе прибавлялось къ высшей температурѣ калориметра при вычисленіи освободившихся единицъ теплорода.

Пріемы при сжиганіи газовъ. — Когда требуется сжечь какой-либо газъ, чрезъ трубку *o''* (фиг. 239) впускаютъ кислородъ. Испытуемый газъ зажигаютъ при оконечности рожка *H* (фиг. 240), который вставляютъ въ трубку *t'* (фиг. 239). При сожиганіи водорода, дающаго только воду, закрываютъ оконечность *c* змѣевика, которая становится безполезною (фиг. 238). Увеличеніе вѣса камеры даетъ количество образовавшейся воды, откуда можно заключить и о количествѣ сгорѣвшаго водорода, такъ-какъ химическій составъ воды извѣстенъ.

Для сжиганія водорода въ хлорѣ, оба газа впускаютъ чрезъ трубку *t'* посредствомъ рожка *h c m* (фиг. 244). Хлоръ входитъ чрезъ стеклянную трубку *c*, а водородъ чрезъ двѣ мѣдныя трубы *h* и *m*, послѣдняя изъ которыхъ окружаетъ трубку *c*. Оба газа смѣшиваются при оконечности рожка, изображеннаго въ большихъ размѣрахъ въ *c' p*. Хлоръ входитъ чрезъ трубку *c' o*, а водородъ чрезъ окружающее ее пространство. Газы встрѣчаются при *o* и смѣшиваются въ маленькомъ платиновомъ цилиндрѣ, имѣющемъ 2 милим. въ діаметрѣ. Небольшой кусочекъ губчатой платины *e*, оставаясь накаленнымъ въ струѣ газовъ, не даетъ имъ гаснуть. Хлористоводородная кислота, образовывающаяся при этомъ, проходитъ въ сосудъ съ водою, гдѣ растворяется; излишекъ водорода проходитъ въ трубку наполненную пемзою, постоянно смоченною, которая отнимаетъ послѣдніе остатки

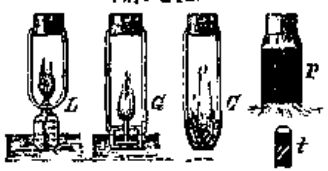
фиг. 244.



кислоты. Затѣмъ растворъ подвергаютъ анализу, осаждая его азотнокислымъ серебромъ, и изъ количества хлористаго серебра заключаютъ о количествѣ употребленнаго хлора, и вслѣдствіе того и водорода.

Сгараніе тѣлъ жидкихъ и плавкихъ. Подобныя тѣла помѣщаются въ маленькихъ мѣдныхъ лампочкахъ (фиг. 245), вмѣстимость которыхъ приблизительно равняется 2 кубическимъ сантиметрамъ, привѣшенныхъ къ пробкѣ *b* (фиг. 240). Твердыя жирныя тѣла помѣщаются въ лампѣ *G*, которая немного поболѣе предъидущихъ; свѣтильня сдѣлана изъ горнаго льва Зажегши эту лампочку, ее вводятъ въ камеру, которую затыкаютъ пробкою *b* и немедленно погружаютъ въ воду калориметра.

фиг. 245.



Сѣра помѣщается въ маленькомъ фаянсовомъ тиглѣ *C* (фиг. 245), вмѣщающемъ ее до 4 или 5 граммовъ. Зажигаютъ ее посредствомъ заостреннаго раскаленнаго уголька, который быстро вводятъ въ снарядъ. Для того, чтобы горѣніе было полное, кислородъ долженъ обхватывать тигель со всѣхъ сторонъ, чего достигаютъ оканчивая трубку *o'* (фиг. 240) колѣномъ, которое даетъ газу направленіе, касательное къ стѣнкамъ камеры. Въ послѣдней не должно быть ни капли воды; иначе эта жидкость растворила бы образовавшуюся сѣрнистую кислоту и послужила бы поводомъ къ образованію небольшаго количества сѣрной кислоты.

Сгараніе углерода. Различные виды угля освобождаютъ различныя количества теплорода. Древесный уголь, лишенный водорода чрезъ прокаливаніе, кладется въ платиновый цилиндръ *P* (фиг. 245), дно котораго продыравлено. Зажигаютъ его, бросивъ кусочекъ зажженаго угля, вѣсомъ въ 4 или 5 миллиграм. чрезъ отверзтіе трубки *t'* (фиг. 240); затѣмъ въ эту трубку быстро вставляютъ конецъ рожка *O* (фиг. 241), чрезъ который кислородъ притекаетъ, проходя сквозь всю массу угля

Уголь, трудно сожигаемый, помѣщаютъ въ маленькую корзиночку изъ платиновой проволоки *l* (фиг. 245), которую вводятъ въ цилиндръ *P*; промежутокъ, остающійся вокругъ корзиночки, наполняютъ древеснымъ углемъ. При вычисленіи, конечно, принимаютъ во вниманіе теплородъ освобождаемый послѣднимъ, вѣсъ и теплородныя свойства котораго извѣстны.

Фавръ и Зильберманъ подтвердили фактъ, уже замѣченный Дюма

и Стасомъ (Stas) при горѣніи алмаза, именно, что при горѣніи угля постоянно образуется немного окиси углерода, которая бываетъ примѣшена къ углекислотѣ. Для того чтобы умѣть избѣжать этого источника неправильности, начали съ измѣренія теплоты освобождающейся при горѣніи окиси углерода. Газъ этотъ смѣшивали приблизительно съ третью водорода. Пройдя чрезъ змѣевикъ, продукты горѣнія оставляютъ свою воду въ трубкѣ *a* (фиг. 242), наполненной пемзою, напитанною сѣрною кислотою, а углекислота поглощается въ трубкѣ съ шариками, которая видна рядомъ, и въ слѣдующихъ за нею трубкахъ, въ видѣ буквы *U*, наполненныхъ ѣдкимъ натаномъ. Увеличеніе въ вѣсѣ этой части прибора, которая можетъ быть отдѣлена отъ другихъ частей, даетъ вѣсъ образовавшейся углекислоты, откуда можно заключить и о вѣсѣ сгорѣвшей окиси углерода. Часть этого газа, которая могла не сгорѣть, проходила въ стеклянную трубку *T t* (фиг. 243), наполненную нагрѣтою мѣдною окисью, которая превращала окись углерода въ углекислоту. Получившійся газъ поглощается въ трубкахъ *t t'*, изъ которыхъ первая служитъ для просушки Увеличеніе въ вѣсѣ всѣхъ этихъ трубокъ, исключая первой, даетъ вѣсъ углекислоты, а слѣдовательно и окиси углерода, не сгорѣвшей въ калориметрѣ. Этой послѣдней величины почти никогда не оказывалось. Вѣсъ водорода, по которому заключали и о количествѣ освобожденной имъ теплоты, вычислялся на основаніи вѣса окиси углерода и изъ отношенія объемовъ обоихъ газовъ. Чтобы узнать это отношеніе, подвергали анализу смѣсь обоихъ газовъ, взятую чрезъ боковую трубку, передъ входомъ ихъ въ калориметръ.

Теперь легко понять, какимъ-образомъ при горѣніи углерода опредѣляютъ количество образовавшейся окиси углерода, увеличеніе въ вѣсѣ трубокъ *ab* даетъ количество углекислоты, и увеличеніе вѣса трубокъ *tt'*, количество окиси углерода Итакъ къ теплороду, освободившемуся въ калориметрѣ, слѣдуетъ прибавить еще то количество, которое произвела бы окись углерода, переходя въ углекислоту. При этомъ образѣ дѣйствія предполагается, что количество освобождаемой теплоты остается одно и то же, будетъ ли соединеніе происходить въ нѣсколько пріемовъ или съ одного раза, что дѣйствительно имѣетъ мѣсто для углекислоты, въ чемъ Фавръ и Зильбермапъ убѣдились на основаніи данныхъ, почерпнутыхъ ими изъ собственныхъ опытовъ.

Дѣйствительно, пусть x будетъ теплородъ, развивающійся при переходѣ угля въ углекислоту, y теплородъ, развивающійся при пере-

ходъ его въ окись углерода, p вѣсъ угля, превратившагося въ углекислоту, q вѣсъ угля, превратившагося въ окись углерода, и наконецъ c окончательное число единицъ теплорода, освободившихся въ разсматриваемомъ случаѣ. Другой опытъ даетъ количества p' q' c' и тогда получается два уравненія: $px+qy=c$, $p'x+q'y=c'$, изъ которыхъ можно вывести величины x и y. Вставляя, вмѣсто p, q, c, p', q', c', данныя обоихъ опытовъ, нашли $x=8097$ и $y=2397,8$ Извѣстно же, что 1 граммъ угля, переходя въ углекислоту освобождаетъ 8080 един. теплорода, а количество окиси углерода, заключающее 1 граммъ угля $=5607$.

Разность 2473 между этими двумя цифрами означаетъ количество теплорода, освобождающагося при переходѣ угля въ окись углерода, потому-что эта цифра мало разнится отъ величины, найденной для y. Эта разница происходитъ отчасти вслѣдствіе того, что ошибки, которыя заключаются въ данныхъ, полученныхъ изъ опытовъ при рѣшеніи уравненій въ величинахъ x и y, не уничтожаются взаимно, а еще болѣе увеличиваются; кромѣ же и величина x чувствительно разнится отъ числа 8080 Изъ этого также видно, что первоначальное окисленіе углерода освобождаетъ менѣе теплорода, чѣмъ сгараніе уже образовавшейся окиси, что отчасти можно приписать переходу его въ газообразное состояніе.

Вотъ главнѣйшіе результаты найденные Фавромъ и Зильберманомъ:

	НАЗВАНІЕ веществъ.	Химическая формула.	Теплородъ, освобождаемый 1 гр горюч. матеріала.
	Водородъ	»	34462
	id. съ хлоромъ	»	23783,3
	Окись углерода	»	2403
	Болотный газъ	C^2H^4	13063
Углеродъ	Древесный уголь	»	8080
	Сахарный уголь	»	8039,8
	Id. изъ газовыхъ ретортъ	»	8047,3
	Естественный графитъ	»	7796,0
	Id изъ доме. печ.	»	7762,3
	Алмазъ	»	7770,1
	Id нагрѣтый до 500°	»	7878,7
Сѣра.	Самородная	»	2261,8
	Id кристаллизованная за 1 ч.	»	2258,0
	Id расплавленная за 7 дѣтъ	»	2216,8
	Id мягкая, за ½ часа	»	2258,4
	Сѣрнистый углеродъ	»	3400,5
Двууглерод. водор.	Маслородный газъ	$C^2H^2)^2$	11857,8
	Амиленъ	$C^2H^2)^5$	11491
	Паранилепъ	$(C^2H^2)^{10}$	11303
	Углеводородъ, кипящій при 180°	$(C^2H^2)^{11}$	11262
	Цетенъ	$(C^2H^2)^{16}$	11055
	Метамиленъ	$(C^2H^2)^{20}$	10928
Прост. эѳиры	Сѣрный эѳиръ	$C^4H^{10}O$	9027,6
	Амиленовый эѳиръ	$C^{10}H^{10}O$	10188
	Воскъ	»	10406

	НАЗВАНІЕ веществъ.	Химическая формула.	Теплородъ, освобождаемый 1 гр горюч. матеріала.
Алкоголи.	Древесный спиртъ	$C^2H^3H^2O^2$	5307
	Винный алкоголь	$(C^2H^2)^2H^2O^2$	7184
	Амиловый алкоголь	$(C^2H^2)^5H^2O^2$	8958,6
	Эѳаловый алкоголь	$(C^2H^2)^{16}H^2O^2$	10629,2
	Ацетонъ	$(C^2H^2)^3O^2$	7303
Кислоты $(C^2H^2)^nO^4$.	Муравьиная кислота	$C^2H^2)_2O^4$	2000
	Уксусная кислота	$(C^2H^2)^2O^4$	3505
	Масляная кислота	$(C^2H^2)^4O^4$	5647
	Валерьяновая кислота	$(C^2H^2)^5O^4$	6439
	Эѳаловая кислота	$(C^2H^2)^{16}O^4$	9316,5
	Стеариновая кислота	$(C^2H^2)^{19}O^4$	9716,5
Сложные эѳиры	Муравьинокислый мѳиленъ	$(C^2H^2)^2O$	4297,4
	Уксуснокислый мѳиленъ	$(C^2H^2)^3O^4$	5342
	Муравьиный эѳиръ	$(C^2H^2)^3O^4$	5278,8
	Уксусный эѳиръ	$(C^2H^2)^4O^4$	6292,7
	Масляннокислый мѳиленъ	$(C^2H^2)^5O^4$	6798,5
	Масляный эѳиръ	$(C^2H^2)^6O^4$	7090,9
	Валерьяновый мѳиленъ	$(C^2H^2)^8O^4$	7375,6
	Валерьяновый эѳиръ	$(C^2H^2)^7O^4$	7834,9
	Уксуснокислый амилъ	$(C^2H^2)^7O^4$	7971,2
	Валерьяноамиловый эѳиръ	$(C^2H^2)^{10}O^4$	8543,6
	Спермацетъ	$(C^2H^2)^{32}O^4$	10342
	Лимонная эссенція	$C^{10}H^8$	10959
	Эссенція терпентина	$C^{20}H^{16}$	10852
	Теребенъ	$C^{20}H^{16}$	10662

363. *Примѣчанія*. Теплотворная сила, найденная для водорода, весьма мало отличается отъ той, которую получилъ Дюлонгъ; слѣдовательно, можно быть вполнѣ увѣреннымъ въ точности этой величины.

Углеродъ. Различные виды угля дали различныя цифры. При срав-

ненія этихъ цифръ съ величинами, выражающими теплоёмкость этихъ тѣлъ, замѣтно, что изъ всѣхъ видовъ угля, при горѣніи, наиболѣе теплоты даютъ тѣ, которые имѣютъ самую бо́льшую теплоёмкость, и, слѣдовательно, самую мѐньшую плотность (206); между-тѣмъ графитъ и алмазъ освобождаютъ при горѣніи почти одинаковыя количества теплорода, несмотря на то что ихъ теплоёмкость весьма различна.

Сѣра. Сѣра, которую подвергали изслѣдованію въ различныхъ ея физическихъ состояніяхъ, привела къ тому же закону; слѣдуетъ замѣтить, что тягучая сѣра, которую получаютъ, выливая мягкую тестообразную сѣру въ воду, и сѣра окристаллизованная въ призмы, выдѣляли одинаковое количество тепла, между-тѣмъ какъ ихъ теплоёмкость весьма различна.

Сѣрнистый углеродъ. Если взять сумму количествъ теплорода, освобождающихся при горѣніи углерода и сѣры, входящихъ въ составъ одного грамма сѣрнистаго углерода, то найдемъ цифру, превышающую количество теплорода, освобождающагося при горѣніи послѣдняго на 254,2 единицы теплорода.

Болотный газъ представляетъ ту же особенность. Итакъ, количество теплорода освобождающееся при горѣніи сложнаго тѣла, не равняется суммѣ количествъ теплорода, освобождающихся при горѣніи его составныхъ частей. Однако это равенство имѣетъ мѣсто для маслороднаго газа.

Законъ углеводородовъ. Углеводороды, выражающіеся формулою $(C^2H^2)^n$, привели къ слѣдующему закону что каждый разъ, когда углеводородъ (C^2H^2 = 4 объемамъ) входитъ еще разъ въ составъ новаго углеводорода, освобождающійся при горѣніи теплородъ уменьшается на 37,48 единицъ теплорода. Напримѣръ, если углеводородъ $C^{10}H^{10}$ освобождаетъ при горѣніи 11491 единицъ теплорода, то парамиленъ $C^{20}H^{20}$ долженъ дать число $11491 - 5 \times 37,5 = 11303,5$, изъ опыта получено 11303.

Алкоголь — Алкоголь безводный, равно какъ и водный до 80°, освобождаетъ почти одинаковыя количества теплорода.

Тѣла изомерныя. Такъ называются тѣла, составленныя изъ одинаковыхъ началъ, въ одинаковыхъ пропорціяхъ. Напримѣръ уксусная кислота и муравьиновокислый метиленъ $(C^2H^2)O^4$; теребенъ и эссенція терпентина $(C^{20}H^{16})$. Эти соединенія имѣютъ весьма различныя свойства, что объясняютъ различною группировкою частицъ. Можно было бы думать, что̀ тѣла эти, сгарая, будутъ освобождать одинаковыя количества теплорода, но на дѣлѣ выходитъ иначе, какъ это видно изъ предъидущей таблицы Вообще сложные эѳиры освобождаютъ болѣе

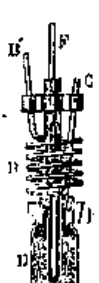
теплорода, чѣмъ кислоты изомерныя съ ними. Это снова доказываетъ, что количество теплорода, освобождающагося при горѣніи сложнаго тѣла, не равняется суммѣ количествъ теплорода освобождающихся при горѣніи его составныхъ началъ.

364. *О теплородныхъ явленіяхъ, происходящихъ при разложеніи.* Обыкновенно допускаютъ, что разложеніе тѣлъ сопровождается поглощеніемъ количества теплорода равнаго тому, которое тѣла эти должны были освободить при соединеніи. Законъ этотъ очевидно неточенъ, потому-что разложеніе на составныя начала нѣкоторыхъ тѣлъ, сопровождается освобожденіемъ теплорода. Этотъ послѣдній результатъ доказанъ Фавромъи Зильберманомъ *) которымъ мы обязаны всѣми нижеслѣдующими изслѣдованіями, за исключеніемъ тѣхъ, которыя касаются сѣры.

Закись азота. Уголь, сгарая *въ закиси азота*, освобождаетъ 11158,2 единицъ теплорода, слѣдовательно болѣе, чѣмъ когда онъ сгараетъ въ чистомъ кислородѣ. Результатъ этотъ былъ уже найденъ Дюлонгомъ 359). Отсюда заключаютъ, что кислородъ и азотъ закиси, разъединяясь, освобождаютъ теплородъ. Если вычислить количество теплорода, которое освободилось бы при горѣніи въ чистомъ кислородѣ для образованія того количества углекислоты и окиси угля, которое получилось при горѣніи углерода въ закиси азота, и если вычесть эту величину изъ числа 11158,2, то разность 1154 будетъ изображать число единицъ теплорода, освободившихся при химическомъ разложеніи количества закиси азота, заключающаго 1 граммъ кислорода.

Притомъ, Фавръ и Зильберманъ ясно доказали, что закись азота рѣзко разлагается на азотъ и кислородъ подъ вліяніемъ одной теплоты. Слѣдовательно, они могли непосредственно измѣрить теплоту освобождаемую при этомъ разложеніи. Съ этою цѣлью пробка *b*, закрывающая камеру (фиг. 240), была расположена, какъ видно въ фиг. 246. Закись азота входитъ, черезъ трубку *F*, въ широкую платиновую трубку, закрытую снизу, потомъ проходитъ вокругъ трубки, чрезъ которую только-что прошла, и входитъ въ змѣевикъ. Платиновая трубка окружена углемъ, помѣщающимся въ цилиндрѣ *D*. Уголь этотъ зажигается и получаетъ кислородъ чрезъ трубку *c*. Закись азота, та-

Фиг. 246.



*) Annales de chimie et physique, 3-me serie, t. XXXVI.

кимъ-образомъ почти разложившаяся, пройдя чрезъ змѣевикъ, входитъ подъ колоколъ, погруженный въ ртутную ванну. Такимъ-образомъ газъ этотъ отдѣляется отъ продуктовъ горѣнія угля, которые распространяются въ камерѣ и выходятъ изъ нея какъ обыкновенно Вычитая изъ количества теплорода, показываемаго калориметромъ, то, которое происходитъ отъ сгаранія угля, получаемъ теплородъ, освобождающійся вслѣдствіе разложенія части азотной закиси. Чтобы узнать какое количество разложилось, слѣдуетъ подвергнуть анализу газъ собранный надъ ртутью. Такимъ-образомъ нашли цифру 1090, которая только очень мало отличается отъ той, которую мы привели выше.

Окись серебра. Четыре или пять граммовъ серебряной окиси кладутся въ маленькій платиновый тигель, снабженный крышкою Тигель этотъ вводится въ платиновый цилиндръ *P* (фиг. 245) и окружается извѣстнымъ вѣсомъ угля. Горѣніе угля доставляетъ жаръ, потребный для разложенія окиси. Если вычесть это количество изъ того, которое даетъ калориметръ, то находятъ, что 1 граммъ окиси освобождаетъ при разложеніи 22,1 единицы теплорода. Слѣдуетъ замѣтить, что кислородъ, выдѣляющійся изъ окиси, переходитъ въ газообразное состояніе, что̀ отнимаетъ значительное количество теплорода, освобождающагося при разложеніи.

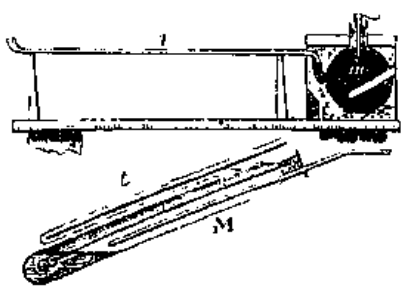
Углекислая известь. Съ этимъ веществомъ поступаютъ точно такъ же. Потеря въ вѣсѣ тигля даетъ количество разложившагося вещества. Въ состояніи исландскаго шпата, углекислая известь поглощаетъ 308 единицъ теплорода, на каждый разложившійся граммъ, въ состояніи аррагонита онъ, то̀ поглощаетъ, то̀ освобождаетъ теплородъ. Это происходитъ отъ того, что его строеніе измѣняется отъ дѣйствія жара, а это измѣненіе сопровождается освобожденіемъ теплорода. Если температура, производимая горѣніемъ угля, недостаточна для разложенія аррагонита, то получаютъ maximum теплоты. Когда аррагонитъ уже предварительно разъединенъ жаромъ, то разложеніе его поглощаетъ 299,3 единицъ теплорода, цифру, которая весьма мало разнится отъ 308, найденныхъ для исландскаго шпата

Сѣра. Сѣра, измѣняя свое строеніе, также освобождаетъ теплородъ. Реньо, подвергая испытанію тягучую сѣру, при температурѣ 98°, въ корзинкѣ своей ванны, предназначенной для измѣренія теплоёмкости тѣлъ, замѣтилъ, что температура повысилась до 110°, при переходѣ ея въ обыкновенную сѣру. При измѣненіи призматической сѣры въ октаэдрическую, также происходитъ освобожденіе теплорода.

Митчерлихъ замѣтилъ, что это происхожденіе значительно ускоряется веществами, растворяющими сѣру. Напримѣръ, если бросить нѣсколько призматическихъ кристалловъ, только-что приготовленныхъ, въ сѣрнистый углеродъ, насыщенный сѣрою, то произойдетъ почти мгновенное измѣненіе, и на поверхности и въ самой жидкости можно замѣтить маленькіе октаэдры; вмѣстѣ съ тѣмъ температура повышается на нѣсколько градусовъ. Митчерлихъ производилъ еще слѣдующій опытъ: онъ расплавилъ 50 килограм. сѣры и заставилъ часть ея кристаллизоваться въ деревянномъ сосудѣ. Когда масса приняла температуру окружающей среды, онъ взялъ часть ея, которая не начала еще измѣняться, перемѣстилъ ее въ сосудъ изъ дурнаго проводника, гдѣ онъ постоянно болталъ ее впродолженіи часа термометромъ. Послѣдній поднялся на 12°. Такъ-какъ этотъ опытъ продолжается цѣлый часъ, то для того, чтобы избѣжать потери тепла извнѣ, сосудъ постепенно переносили въ другія комнаты, температура которыхъ равнялась температурѣ термометра. Такъ-какъ вѣсъ сѣры и его теплородныя свойства были извѣстны, то не трудно было вычислить число единицъ теплорода, освобождаемыхъ 1 граммомъ сѣры. Такимъ-образомъ нашли 2,27.

Перекись водорода. Перекись водорода, разлагаясь, освобождаетъ теплородъ. Фавръ и Зильбермапъ доказали это при помощи ртутнаго калориметра (фиг. 247), уже описаннаго (285). Жидкость вливаютъ въ стеклянную трубку *M*, которую вводятъ въ платиновую трубку калориметра *m*. Нѣсколько губчатой платины, которую вводятъ туда на маленькой ложечкѣ, производило разложеніе, а измѣненіе уровня ртути въ трубкѣ *r*, даетъ знать о количествѣ освободившихся единицъ теплорода. Колѣнчатая трубка *t* служитъ для того, чтобы газы уступили весь свой теплородъ, прежде чѣмъ выйдутъ изъ калориметра. Потеря въ вѣсѣ дастъ количество освободившагося кислорода. Мы собрали здѣсь результаты, найденные Фавромъ и Зильбермапомъ и прибавили къ нимъ еще цифру, найденную для сѣры Митчерлихомъ.

Фиг. 247.



	На 1 граммъ кислорода	На 1 граммъ вещества.
Разложеніе закиси азота освобождаетъ..	1090,5 ед. т.	ед. т.
Разложеніе окиси серебра поглощаетъ..	» —	22,5.

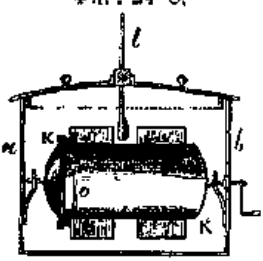
Разложеніе исландскаго шпата поглощаетъ	»	—	30,8	—
Разъединеніе аррагонита освобождаетъ..	»	—	39,1	—
Разложеніе перекиси водорода освобождаетъ	1303	—	»	—
Разъединеніе расплавленной сѣры освобождаетъ.....	»	—	2,27	—

Наконецъ, слѣдуетъ припомнить, что теплородъ освобождается при разъединеніи нѣкоторыхъ сплавовъ (246).

365. Теплородъ, освобождающійся при соединеніяхъ мокрымъ путемъ. Еще пѣтъ пятнадцати лѣтъ, что начали серьозно заниматься теплородомъ, освобождающимся при соединеніяхъ мокрымъ путемъ. Здѣсь результаты чрезвычайно сложны, вслѣдствіе одновременнаго дѣйствія измѣненія состоянія соединяющихся тѣлъ, соединенія, получившагося сложнаго тѣла съ водою, его растворенія въ ней, и наконецъ, отъ измѣненій теплоёмкости этой жидкой смѣси.

Первые опыты, о которыхъ слѣдуетъ упомянуть, это опыты Гесса, который специально занимался соединеніемъ сѣрной кислоты съ водою, и соединеніемъ различныхъ кислотъ съ различными основаніями. Большая часть опытовъ производилась при помощи цилиндра *K K* (фиг. 248), вращающагося вокругъ своей оси. Поступали слѣдующимъ образомъ: открывъ крышку *K*, вливали въ цилиндръ одинъ изъ растворовъ, который удерживался перегородкою *c*; другой растворъ помѣщался въ сосудѣ окружающемъ первый. Затѣмъ, закрывали сосудъ крышкою, проложивъ между ними пластинку изъ каучука, и привинчивали ее. Затѣмъ погружали сосудъ въ ящикъ съ водою *ab* и заставляли его вращаться вокругъ оси. При этомъ движеніи, растворы смѣшиваются; мѣдныя пластинки, придѣланныя къ цилиндру, служатъ вмѣсто мѣшалокъ; повышеніе температуры воды замѣчаютъ на термометрѣ. Потеря тепла извнѣ, избѣгалась по способу Румфорта, на основаніи предварительныхъ опытовъ; также принимали во вниманіе теплоёмкость смѣси. Въ случаѣ образованія солей, растворы употреблялись на столько слабые, чтобы прибавленіе нѣкотораго количества воды не производило бы замѣтнаго повышенія температуры. Въ этомъ случаѣ, вслѣдствіе значительной массы жидкости, Гессъ поступалъ по калориметрическому способу смѣшеній (200).

Фиг. 248.



Андрюсъ (Andrews преимущественно изслѣдовалъ соединеніе ки-

слотъ съ основаніями; онъ поступалъ также по способу смѣшеній *).

Грезмъ (Graham) занимался преимущественно соединеніемъ солей и различныхъ кислотъ съ водою. Онъ употреблялъ платиновый сосудъ, въ который наливалъ воду и потомъ вводилъ испытуемыя вещества въ количествѣ, соотвѣтствующемъ ихъ эквиваленту. Результаты его опытовъ выражены въ градусахъ.

366. Фавръ и Зильбермапъ **), съ своей стороны, сдѣлали при помощи своего ртутнаго калориметра (364) множество опытовъ надъ соединеніями мокрымъ путемъ. Ихъ труды представятъ богатый кладъ для того, кто современемъ предприметъ открыть законы касательно этого рода явленій.

Водные растворы. Теплородныя явленія, производимыя раствореніемъ въ водѣ, были изслѣдованы слѣдующимъ образомъ: маленькій пробирной стаканчикъ, заключавшій въ себѣ извѣстный вѣсъ воды, вводили въ платиновый цилиндръ *m* (фиг. 247) ртутнаго калориметра и тогда всыпали въ воду извѣстный вѣсъ растворимаго тѣла. Если то была сѣрная кислота, то ее впускали помощью пипетки, вмѣщающей извѣстный вѣсъ ея. Газы, какъ напримѣръ хлористоводородная кислота, сѣрнистая кислота и аммiакъ, вводили въ воду чрезъ трубки съ узкими отверстіями; увеличеніе въ вѣсѣ воды опредѣляло количество растворившагося газа. Вѣсъ солей, введенныхъ въ видѣ порошка, опредѣлялся такимъ же способомъ. Послѣднія, растворяясь всегда производятъ холодъ, исключая безводныхъ.

Вотъ главнѣйшіе результаты, приведенные въ запискѣ Фавра и Зильбермана

*) Annales de chimie et de physique, 2-me série t. IV.

**) Annales de chimie et de physique, 3-me série t. XXXVI t. XXXII.

Таблица количествъ теплорода поглощаемыхъ растворенгемъ 1 грамма соли въ излишкѣ воды.

СОЛИ.	Число единицъ теплорода.	СОЛИ.	Число единицъ теплорода
Сѣрнокислый поташъ.....	35,3	Углекислая сода.....	52,7
Сѣрнокислая сода.....	40,1	Водная углекислая сода...	51,5
Сѣрнокислый аммiакъ.....	11,1	Фосфорная кислая сода...	52,3
Сѣрнокислая известь.....	24,7	Фосфористокислая сода...	21,9
Сѣрнокислый баритъ.....	64,4	Щавелевокислая сода.....	9,7
Сѣрнокислая окись цинка.	14,8	Водная щавелевая кислота.	67,0
Сѣрнокислая закись желѣза	12,1	Щавелевокислый поташъ водный	62,1
Сѣрнокислый уранилъ ..	*10,7	Винокаменнокислая сода..	25,2
Сѣрнокислый поташъ водный.....	25,6	Винокаменнокисл. поташъ..	17,3
Сѣрнокислый поташъ и глиноземъ водный.....	23,1	Водная винокаменная кисл.	19,8
Сѣрнокислый поташъ и закись желѣза водные.....	21,5	Винокаменный поташъ и сода.....	40,9
Сѣрнокислый аммiакъ и глиноземъ водные.....	19,0	Хлористый калiй.....	51,9
Азотнокислый поташъ...	70,5	— натрiй.....	8,9
Азотнокислая сода.....	45,5	— аммонiй.....	65,1
Азотнокислый аммiакъ....	65,9	— кальцiй.....	15,5
Азотнокислая известь.....	27,1	— барiй.....	16,9
Азотнокислый стронцiанъ..	41,2	— цинкъ.....	*92,2
— свинецъ...	14,9	— стронцiй.....	24,9
Азотнокислое серебро....	31,1	Хлористое желѣзо.....	*58,3
Уксуснокислая сода.....	28,1	Двухлористая мѣдь.....	*71,7
— известь....	3,5	Бромистый калiй.....	37,8
Уксуснокислый свинецъ..	14,8	Iодистый калiй	29,2
— поташъ водный.	19,3	Сѣрнистый калiй.....	*36,1

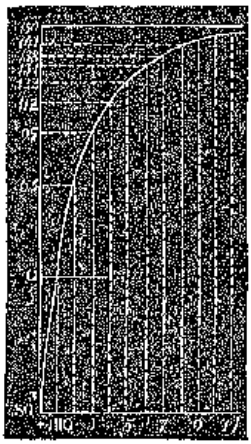
Числа предъ которыми стоитъ звѣздочка (*) соотвѣтствуютъ освобожденiе теплоты; соли, давшiя эти результаты, были безводны. *).

Одноводная сѣрная кислота, соединяясь съ вторымъ эквивалентомъ воды, освобождаетъ 64,7 единицъ теплорода; если же прибавлять еще эквиваленты воды, то количество освобождающейся теплоты, съ

*) Въ этой таблицѣ выставлены и соли нерастворимыя или мало растворимыя. Относящiеся до нихъ результаты получены на основанiи особыхъ соображенiй, выведенныхъ изъ законовъ освобожденiя теплоты, при соединенiи кислотъ съ основанiями.

каждымъ разомъ уменьшается. Кривая линія (фиг. 249 даетъ нѣкоторое понятіе объ этомъ законѣ постепеннаго уменьшенія; цифры, выставленныя вдоль оси абсцисъ, означаютъ число эквивалентовъ воды, а выставленныя вдоль оси ординатъ — число единицъ теплорода освобождающихся при соединеніи кислоты SO^3, съ полнымъ соотвѣтствующимъ числомъ эквивалентовъ воды.

фиг. 249.



Кислоты хлористоводородная, бромистоводородная и иодистоводородная дали числа 149,6, 235 6, и 147, 7, сѣрнистая кислота 120,4, а амміакъ 514,3 единицъ теплорода, на грамъ растворившагося газа.

Образованіе среднихъ солей. При соединеніи кислоты съ основаніемъ для образованія средней соли, всегда освобождается теплородъ. Вотъ какимъ-образомъ производились подобные опыты Титрированный растворъ основанія, т. е. такой, который содержитъ извѣстный вѣсъ сухаго матеріала въ опредѣленномъ объемѣ, измѣрялся въ кипетки и вводился въ пробирной стеклянный стаканчикъ. Не требовалось, чтобы кислота была строго отмѣрена, такъ-какъ ея растворъ и растворъ основанія былъ чрезвычайно слабъ, для того чтобы новое количество воды не производило повышенія температуры, и чтобы соединеніе вполнѣ растворялось, въ такомъ случаѣ не образовалось кислыхъ солей

Когда имѣли дѣло съ нерастворимою солью, то освобождающійся теплородъ измѣряли инымъ способомъ: брали растворимую соль того же основанія и осаждали ее поташомъ или аммiакомъ. Если температура нисколько не измѣнялась, то заключали, что поташъ и кислота соли, соединяясь, образовали столько же теплоты, сколько бы освободила та же кислота, соединяясь съ осажденнымъ основаніемъ. Если же обнаруживалось измѣненіе температуры, то оно представляло разность, значеніе которой не трудно было объяснить.

Способъ повѣрялся прямымъ опытомъ, иначе можно было бы сомнѣваться въ его справедливости, потому-что тутъ допускается предположеніе, что столько же теплорода поглощается при разъединеніи двухъ тѣлъ, сколько освобождается при ихъ соединеніи, что не всегда имѣетъ мѣсто (364).

Вотъ часть результатовъ, найденныхъ Фавромъ и Зильберманомъ.

I. ГРАММЪ.	КИСЛОТЫ.				I. ГРАММЪ.	КИСЛОТЫ.			
	Сѣрная	Азотная.	Хлористоводородная.	Уксусная.		Сѣрная.	Азотная.	Хлористоводородная.	Уксусная.
Поташъ.....	342	230	333	297	Закись цинка...	253	203	202	168
Сода.....	520	493	493	439	» кобальта.	310	262	273	244
Аммiакъ.....	565	527	520	486	» никкеля.	316	275	274	243
Баритъ	270	202	201	174	Окись мѣди	194	159	160	131
Стронцiанъ.....	»	»	279	»	Закись кадмiя...	160	127	128	118
Известь.....	670	605	606	524	» свинца..	102	82	101	64
Магнезiя	724	642	661	613	» серебра.	89	53	198	»
Закись желѣза..	307	208	273	238	Глиноземъ.....	644	»	»	»
» марганца	346	310	321	265	Окись желѣза...	249	»	»	»

Вообще видно, что, съ однимъ и тѣмъ же основанiемъ, болѣе крѣпкiя кислоты освобождаютъ болѣе тепла.

Сѣрная кислота производитъ maximum нагрѣванiя, какъ это уже доказалъ Гроэмъ. Также слѣдуетъ замѣтить, что различныя минеральныя кислоты, съ тѣмъ же растворимымъ или нерастворимымъ основанiемъ, даютъ почти одинаковое количество теплорода, лишь бы образуемая соль была растворима.

Соединенiя кислотъ съ различными безводными основанiями, давали всегда болѣе сильные результаты, чѣмъ соединенiя ихъ съ гидратами, вслѣдствiе теплорода, освобождающагося отъ соединенiя основанiя съ водою, которою кислота растворена.

Кислыя соли. Двойныя соли. Въ пробирной стаканчикъ ртутнаго калориметра вводятъ 1, 2, 4 или 8 эквивалентовъ кислоты, взвѣшенныхъ или опредѣленныхъ посредствомъ титрированнаго раствора, и затѣмъ приливаютъ одинъ эквивалентъ основанiя. Достойно замѣчанiя, что если воды столько, что кислая соль, которая образуется, не въ состоянiи насытить ся, то количество освобождающагося теплорода то же, что и при образованiи среднихъ солей; между-тѣмъ, какъ

если жидкость на столько концентрирована, что въ ней отлагаются кристаллы кислой соли, то происходитъ освобожденіе теплорода, свидѣтельствующее объ образованіи новаго соединенія. Итакъ повидимому при избыткѣ воды кислота можетъ оставаться въ присутствіи средней соли, содержащей ту же кислоту, не соединяясь съ нею.

Образованіе двойныхъ солей подаетъ поводъ къ такому же замѣчанію. Оказывается, что двѣ соли, могущія соединиться, не соединяются, когда жидкость въ такомъ количествѣ, что не насыщается двойною солью, которая должна произойти отъ этого соединенія *). Андрюсъ нашелъ, что переходъ средней соли въ кислую и образованіе двойныхъ солей не сопровождается освобожденіемъ теплорода. Это неудивительно, потому-что онъ производилъ изслѣдованія надъ чрезвычайно слабыми растворами.

Соединеніе металловъ съ кислородомъ, хлоромъ и проч.—Фавръ и Зильберманъ сдѣлали множество опытовъ надъ количествомъ теплорода, освобождающагося при соединеніи металловъ, мокрымъ путемъ, съ кислородомъ, хлоромъ, бромомъ, іодомъ и серою. Бо́льшая часть результатовъ получена косвеннымъ путемъ, и допуская предположеніе, что теплородъ, освобождающійся при соединеніи двухъ тѣлъ, равняется теплороду поглощаемому при ихъ разъединеніи. Согласіе, существующее между результатами, найденными для окисленія цинка и мѣди, съ результатами, найденными Дюлонгомъ для ихъ горѣнія въ кислородѣ, убѣждаетъ въ справедливости косвеннаго способа, при изслѣдованіяхъ соединеній мокрымъ путемъ.

367. Теплородные эквиваленты.—Сравнивая количества теплорода, освобождаемыя массами пропорціональными химическимъ эквивалентамъ соединяющихся тѣлъ, Фавръ и Зильберманъ составили цѣлую таблицу теплородныхъ эквивалентовъ главнѣйшихъ двойныхъ соединеній; такъ они называютъ теплородъ, освобождающійся при соединеніи химическихъ эквивалентовъ соединяющихся тѣлъ.

---

*) Взглядъ этотъ былъ подтвержденъ Пастеромъ (Pasteur) способомъ, основаннымъ на поляризаціи свѣта. Объ этомъ говорятъ въ оптикѣ.

МЕТАЛЛЫ.	Окиси.	Хлористыя соединенія	Бромистыя.	Іодистыя.	Сѣрнистыя.
Водородъ....	34462	23783	9322	— 3600	2741
Калій.....	—	100960	90188	77268	45638
Натрій.....		94847	—	—	—
Цинкъ	42451	50296	—	—	20940
Желѣзо.....	37828	49651	—	—	17753
Мѣдь.....	21885	21885	—	—	9133
Свинецъ.....	27675	44730	32802	23208	9556
Серебро	6113	34800	25618	18651	5524

Изъ этой таблицы можно заключить, что болѣе постоянныя соединенія тѣлъ освобождаютъ наиболѣе теплорода. Напримѣръ хлористое серебро и окись золота, изъ которыхъ первое чрезвычайно легко разлагается, имѣютъ весьма различные теплородные эквиваленты. Джауль (Joule) предлагаетъ подобный же законъ, говоря, что количество теплорода, произведенное горѣніемъ одного эквивалента тѣла, пропорціонально его сродству съ кислородомъ *).

Ясно, что для того, чтобы сравнивать при самыхъ выгодныхъ условіяхъ теплородные эквиваленты, слѣдуетъ разсматривать соединенія въ состояніи растворовъ, такъ какъ въ твердомъ ихъ состояніи они представляютъ множество поводовъ къ неточностямъ. Поступая такимъ-образомъ, Фавръ и Зильберманъ нашли, что, вычитая изъ эквивалентовъ окисей различныхъ металловъ эквиваленты хлористыхъ ихъ соединеній, получаешь почти равныя разности; то же можно сказать и о соединеніяхъ съ бромомъ, іодомъ и сѣрою. Итакъ, разъ что извѣстны теплородные эквиваленты окисей металловъ, то можно опредѣлить и эквиваленты ихъ хлористыхъ, бромистыхъ, іодистыхъ, сѣрнистыхъ соединеній, коль-скоро эквивалентъ извѣстенъ для одного изъ этихъ металловъ. Также замѣчено, что если изъ теплородныхъ

*) Можетъ показаться страннымъ, что теплородные эквиваленты цинка менѣе эквивалентовъ, соотвѣтствующихъ водороду; но удивленіе прекращается, если припомнить, что Грове разлагалъ воду нагрѣваніемъ при температурѣ, при которой не разлагались окиси цинка и желѣза.

эквивалентовъ соединеній различныхъ металлоидовъ съ металломъ, вычесть теплородный эквивалентъ ихъ соединенія съ другимъ металломъ, то остатокъ или *модуль* будетъ одинъ и тотъ же, каковъ бы ни былъ металлоидъ.

Этотъ законъ модулей предполагаетъ, что всѣ сравниваемыя сложныя тѣла находятся въ растворѣ, между-тѣмъ какъ есть тѣла, какъ напр. хлористое серебро или хлористый свинецъ, которыя совершенно нерастворимы. Для того, чтобы они удовлетворяли этому закону, ихъ слѣдуетъ разсматривать теоретически въ состояніи раствора. Вотъ какимъ-образомъ разсуждаютъ въ этомъ случаѣ.

Изъ опытовъ дознано, что кислоты азотистая, хлористоводородная, бромистоводородная и іодистоводородная освобождаютъ одинаковое количество теплорода, соединяясь съ однимъ и тѣмъ же растворимымъ основаніемъ, для образованія растворимой соли 366). Слѣдовательно, когда образуется нерастворимая соль, то можно принимать за теплородъ, освобождающійся при соединеніи, то количество его, которое соотвѣтствуетъ растворимой соли того же основанія, но съ другою кислотою. Разность между этимъ теоретическимъ числомъ и дѣйствительнымъ, слѣдуетъ приписать исключительно твердому состоянію образовавшагося сложнаго тѣла. Эта разность изображала бы теплородъ, поглощаемый воображаемымъ растворенісмъ этого сложнаго тѣла. Такимъ путемъ вывели результаты, выставленные на таблицѣ, приведенной выше на страницѣ 571 и относящіеся къ солямъ въ сущности нерастворимымъ.

Съ точки зрѣнія теплородныхъ эквивалентовъ, изслѣдованные металлоиды слѣдуетъ помѣстить въ слѣдующемъ порядкѣ, по силѣ сродства:

хлоръ, бромъ, кислородъ, іодъ, сѣра,

а металлы въ порядкѣ

Калій, натрій, цинкъ, желѣзо, мѣдь, серебро, это довольно согласно съ заключеніями, которыя можно вывести изъ химическихъ явленій.

Соляныя соединенія.—Когда различныя кислоты соединяются съ основаніями въ количествахъ, пропорціональныхъ химическимъ эквивалентамъ, то замѣчаютъ также, что самые большіе теплородные эквиваленты принадлежатъ тѣмъ кислотамъ и тѣмъ основаніямъ, которыя производятъ самыя постоянныя соединенія.

368. Законы теплорода, освобождающагося при химическихъ дѣйствіяхъ. Много законовъ было предложено различными

учеными Мы упомянемъ о главнѣйшихъ, для того, чтобы опредѣлить современное состояніе науки касательно столь сложнаго вопроса.

1. Гессъ объявилъ, что количества теплорода, освобождающіяся при соединеніи сѣрной кислоты съ однимъ или нѣсколькими эквивалентами воды, находятся въ простыхъ отношеніяхъ между собою. Грэмъ (Graham), Андрюсъ и Абріа (Abria) дѣлали опыты для повѣрки этого закона Найденныя ими цифры не говорятъ въ его пользу.

2 Гессъ также утверждалъ, что теплородъ не освобождается, когда смѣшиваютъ два соляныхъ раствора въ отношеніи ихъ эквивалентовъ, и когда происходитъ обмѣнъ кислотъ и основаній. Опыты же Андрюса, Фавра и Зильбермана доказываютъ, напротивъ, что происходитъ освобожденіе теплорода, когда одна изъ вновь образовавшихся солей нерастворима, что обыкновенно имѣетъ мѣсто Переходъ въ твердое состояніе осаждающейся соли уже достаточно объясняетъ этотъ результатъ Однако эта теплонейтральность (thermoneutralité) подтверждается при двойномъ разложеніи сѣрнистаго желѣза и уксуснокислаго поташа, которое не даетъ нерастворимаго сложнаго тѣла.

3. Андрюсъ, на основаніи своихъ изысканій, заключилъ, что эквиваленты различныхъ основаній освобождаютъ одинаковое количество теплорода, соединяясь съ одною и тою же кислотою; но результаты найденные Фавромъ и Зильберманомъ противорѣчатъ этому закону.

4. Эквиваленты различныхъ кислотъ, соединяясь съ однимъ и тѣмъ же растворимымъ основаніемъ, освобождаютъ одинаковое количество теплорода. Фавръ и Зильберманъ представили нѣкоторое ограниченіе этого закона предложеннаго Андрюсомъ · слѣдуетъ, чтобы образовавшаяся соль была растворима въ водѣ Сверхъ-того этотъ законъ только приблизительно вѣренъ и относится только къ минеральнымъ кислотамъ, какъ это видно изъ таблицы (стр 573).

Итакъ, изъ всего предъидущаго мы видимъ, что совершенно принятыхъ и утвержденныхъ законовъ, относительно освобожденія теплорода при химическихъ дѣйствіяхъ, чрезвычайно мало Повидимому неоспоримы только слѣдующіе, уже упомянутые законы: 1° Количество теплорода, освобождающееся при химическомъ соединеніи, одно и то же, происходитъ ли это соединеніе вдругъ или въ нѣсколько пріемовъ. 2°. Количество теплорода, освобождающееся при горѣніи сложнаго тѣла, обыкновенно менѣе того, которое освободили бы его составныя части, сгарая отдѣльно. 3°. Когда объемъ образовавшагося газа равняется объему кислорода, то количество теплорода не зави-

ситъ отъ давленія и остается однимъ и тѣмъ же въ воздухѣ и въ кислородѣ. 4°. Наконецъ, послѣдній результатъ, вытекающій изъ всѣхъ описанныхъ опытовъ, что количество освобождающагося теплорода не зависитъ отъ времени употребленнаго на образованіе соединенія.

369. Примѣненіе къ промышленности. — Измѣреніе количества теплорода, освобождающагося при химическихъ дѣйствіяхъ, весьма важно для промышленности въ отношеніи горючихъ матеріаловъ. Главнѣйшіе употребительные роды топлива: антрацитъ, каменный уголь, коксъ, лигнитъ, дерево и торфъ. Въ послѣднее время подъ паровиками начали жечь алкоголь. Употребленіе свѣтильнаго газа, какъ источника теплоты, также начинаетъ распространяться. Уже съ незапамятныхъ временъ, въ нѣкоторыхъ странахъ, какъ напримѣръ въ Китаѣ, съ пользою употребляли воспламеняющійся газъ болотный), освобождающійся въ нѣкоторыхъ мѣстахъ изъ почвы. Копаютъ колодцы, изъ которыхъ трубами проводятъ газъ въ дома и мастерскія, гдѣ съ пользою употребляютъ его для различныхъ домашнихъ потребностей, или для обжиганія извести и кирпича, а также и для освѣщенія.

Понятно, что теплотворная способность различныхъ горючихъ матеріаловъ не можетъ измѣряться на практикѣ тѣми калориметрическими способами, которые мы только-что разсматривали; устройство приборовъ слишкомъ сложно, ихъ употребленіе требуетъ навыка въ тонкихъ опытахъ, и кому же эта точность была бы совершенно излишня, по причинѣ огромнаго различія между образчиками взятыми изъ одной и той же массы топлива. Итакъ, для промышленности было бы чрезвычайно полезно имѣть способъ, въ одно и то же время, простой, немѣшкотный и основанный на неоспоримыхъ началахъ. Къ-несчастью, тѣ способы, которыми мы теперь пользуемся, страдаютъ еще разными недостатками.

Способъ Бертье (Berthier). Этотъ способъ предполагаетъ, что количество теплорода, освобождаемое топливомъ, пропорціонально количеству кислорода, съ которымъ оно соединяется. Это основаніе ни что иное, какъ законъ Вольтера и, говоря вообще, не очень вѣрно, но когда дѣло идетъ о горючихъ матеріалахъ, представляющихся въ одинаковомъ физическомъ состояніи, какъ напримѣръ о каменномъ углѣ, деревѣ, торфѣ, то его можно считать достаточно точнымъ.

Этотъ взглядъ былъ подтвержденъ Доріакомъ и Сахюкьѐ, они доказали, что законъ Вельтера удобно примѣняется къ горючимъ матеріаламъ, представляющимъ подобныя химическія свойства, какъ

напр. жирныя тѣла, алкоголи, металлы, принадлежащіе къ одному и тому же разряду. Итакъ съ этимъ закономъ имѣетъ мѣсто то же самое, что и съ закономъ объ удѣльномъ теплородѣ атомовъ сложныхъ тѣлъ.

На этомъ основаніи способъ Бертьé состоитъ въ опредѣленіи количества кислорода, необходимаго для сгаранія горючаго матеріала; его находитъ, измѣряя количество металлическаго свинца, получаемаго при горѣніи испытуемаго тѣла въ глётѣ или свинцовой окиси *). Вотъ какимъ-образомъ поступаютъ. въ тигель изъ кремнистой земли кладутъ одинъ граммъ горючаго матеріала въ видѣ порошка или чрезвычайно мелкихъ опилокъ, и смѣшиваютъ его съ 20 или 40 грам. окиси свинца. Сверху этой смѣси насыпаютъ еще 20 или 30 граммовъ чистой окиси. Тигель долженъ быть наполненъ только до половины и снабженъ крышкою. Его сильно нагрѣваютъ въ печи, употребляемой для пережиганія, и подъ конецъ разжигаютъ его до такой степени, чтобы излишекъ окиси свинца, соединившись съ веществомъ тигля, образовалъ стекловидную массу. Когда тигель простынетъ, его разбиваютъ и отдѣляютъ образовавшійся свинцовый королёкъ отъ шлака, что не трудно сдѣлать, такъ-какъ послѣдній проникнутъ кремнеземомъ заимствованнымъ у тигля. Взвѣшиваютъ свинецъ, и, на основаніи его вѣса, заключаютъ о количествѣ кислорода, которое горючій матеріалъ поглотилъ при горѣніи, потому-что этотъ кислородъ тотъ самый, который былъ соединенъ съ свинцомъ Слѣдовательно, количество произведеннаго тепла пропорционально вѣсу этого металла Чтобы вычислить его, замѣтимъ, что чистый уголь, разлагая окись, выдѣляетъ количество свинца въ 34 раза бо́льшее противъ своего вѣса. Итакъ если P будетъ вѣсъ свинцоваго королька, а C теплотворная способность угля, то количество освободившагося теплорода $x = \frac{P}{34}\ C$; и принимая $C = 7224$, получается $x = 212,5\ P$.

Аналитическій способъ. — Другой способъ состоитъ въ изысканіи, путемъ химическаго анализа, относительнаго количества углерода, водорода и кислорода, содержащагося въ одномъ граммѣ горючаго матеріала. Затѣмъ, высчитываютъ его теплотворную силу, прибавляя къ теплороду, который бы освободилъ углеродъ, сгарая отдѣльно, то количество теплорода, которое освободило бы излишекъ водорода, послѣ образованія имъ воды съ кислородомъ матеріала.

*) Traité des essais par la voie sèche (Очеркъ изслѣдованій сухимъ путемъ), t. I, p. 228.

Этотъ способъ предполагаетъ, что сложное тѣло освобождаетъ столько же теплорода, сколько всѣ его составныя части отдѣльно взятыя, что не вѣрно (367). Сверхъ-того, изъ опытовъ Юрѐ (Ure) надъ каменнымъ углемъ, явствуетъ, что чѣмъ болѣе каменный уголь содержитъ водорода, тѣмъ менѣе онъ даетъ тепла.

Зная теплородную способность одного тѣла, можно сравнивать съ нимъ и другія тѣла, сжигая въ одной и той же камерѣ равныя количества, по вѣсу, этихъ горючихъ матеріаловъ, и сравнивая повышенія температуры, сообщаемыя ими одной и той же массѣ воды. Этотъ способъ даетъ только приблизительно вѣрные результаты, потому-что эти горючіе матеріалы, сообразно ихъ измельченію и скорости сгаранія, уступаютъ водѣ не одинаковую часть освобождаемаго ими теплорода.

Въ слѣдующей таблицѣ приведены теплотворныя способности различныхъ, наиболѣе употребительныхъ, горючихъ матеріаловъ. Большая часть этихъ чиселъ найдена, по способу Бертьѐ

ГОРЮЧІЙ МАТЕРІАЛЪ.	Число единицъ теплорода на 1 граммъ.	ГОРЮЧІЙ МАТЕРІАЛЪ.	Число единицъ теплорода на 1 граммъ.
Уголь дубовый.....	7624 до 7070	Лигнитъ.....	4320 до 4830
Уголь печной.....	5972 — 7070	Лигнитъ, переходящій въ горн. смолу.	— 0580
Антрацитъ.....	6800 — 7300	Асфальтъ.....	— 7500
Жирный уголь.....	6730 — 7370	Дерево.....	— 4314
Тощій уголь.....	— — 6230	Торфъ.....	— 4300

Всѣ эти цифры, конечно, только приблизительно вѣрны. Мы не отдѣляли различныхъ породъ дерева, потому-что опытъ показалъ, что взятые въ равныхъ, по вѣсу, количествахъ, онѣ освобождаютъ равныя количества тепла Разность, замѣчаемая между породами, не значительнѣе разности между образчиками одной и той же породы, и зависитъ отъ степени сухости и отъ бо́льшаго или меньшаго содержанія золы, смотря по свойству почвы, на которой дерево произрастало. Легко понять, почему различныя породы легкаго дерева,

пробка, вата и проч., освобождаютъ столько же теплоты, сколько и самыя плотныя породы дерева, когда знаешь, что ихъ химическій составъ одинъ и тотъ же, не принимая конечно во вниманіе того незначительнаго количества минеральныхъ веществъ, которое образуетъ золу.

Не должно смѣшивать количества освобождаемой теплоты съ температурою, которую могутъ произвести различныя породы дерева; эта послѣдняя зависитъ отъ ихъ плотности и отъ удобности, съ которою они горятъ (995).

Торфъ освобождаетъ почти столько же теплорода, сколько и дерево, а несмотря на то онъ производитъ только весьма невысокую температуру. Это объясняется его ноздреватымъ строеніемъ, и содержаніемъ въ немъ сырости. Пытались устранить эти неудобства, прессуя и высушивая его. Кингсфортъ и Голландъ (Kingsfort, Holland) придумали соединить въ одну обѣ эти операціи, прессуя въ формахъ высушенный и еще горячій торфъ, предварительно перемятый механическимъ способомъ. Тогда торфъ становится плотнѣе воды, содержитъ не болѣе 6 или 7 процентовъ сырости, горитъ, не распространяя непріятнаго запаха, и вообще составляетъ не громоздкій, удобный и дешевый горючій матеріалъ.

IV. О способахъ произведенія искусственнаго холода.

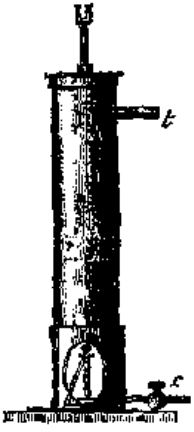
370. Всѣ извѣстные намъ способы искусственнаго произведенія холода основываются на приведеніи въ скрытое состояніе части явной теплоты какого-либо тѣла. Такъ, наприм., мы видѣли (232), что превращеніе, чрезъ растворяющія средства, твердаго тѣла въ жидкое, сопровождается пониженіемъ температуры, происходящимъ отъ перехода въ скрытое состояніе части явной теплоты тѣла. Разжиженіе растворовъ водою (234), испареніе, разрѣженіе газовъ также производятъ холодъ, что объясняется тою же причиною.

371. Холодъ отъ разрѣженія газовъ. — Мы уже видѣли (341), что расширеніе газа сопровождается пониженіемъ температуры, и что количество теплоты, исчезающей при этомъ, равняется той, которая обнаружилась бы при приведеніи газа въ прежнее состояніе (342). Теперь прибавимъ къ этому результаты новыхъ опытовъ, сдѣланныхъ гг. Фавромъ и Зильберманомъ *), въ размѣрахъ

*) Annales de chimie et de physique, 3-e série, t. XXXVII.

большихъ, нежели возможно было прежде, и приведшихъ къ любопытнымъ выводамъ относительно абсолютной теплопроводности газовъ. Приборъ, употребленный для этихъ опытовъ, состоитъ изъ мѣднаго насоса (фиг. 250), нижняя часть котораго снабжена стеклянным цилиндромъ позволяющимъ видѣть термометръ Брегета, помѣщенный внутри снаряда. Поршень P приводится въ дѣйствіе рычагомъ, снабженнымъ параллелограммомъ Уата и служитъ для того, чтобы быстро измѣнять объемъ газа, наполняющаго цилиндръ насоса. Ходъ поршня ограничивается защелками которыя останавливаютъ движеніе рычага. Газы вводятся посредствомъ трубки съ краномъ r, и трубки t, выше которой подымаютъ поршень на это время. Если быстро вытянуть поршень, то произойдетъ разрѣженіе газа, а термометръ Брегета покажетъ понижение температуры.

фиг. 250.



Вотъ таблица полученныхъ температуръ знакъ (—) соотвѣтствуетъ расширенію газа (D), а знакъ (+) сжатію (C).

ГАЗЪ.		Между 1/4 и 1/2 атм.	Между 1/2 и 1 атм.	Между 1 и 2 атм.	Между 1/2 и 2 атм.	Между 1/4 и 2 атм.	Измѣненія температ. для $\frac{1}{273}$ между 1/4 и 1/2 атм.	1/2 и 1 атм.	1 и 2 атм.
II. Воздухъ.....	C	+ 5,6	8,8	13,2	22,0	27,6	0,0204	0,0321	0,0482
	D	— 5,0	7,6	12,8	20,4	25,4	»	»	»
III. Кислородъ..	C	+ 5,6	9,3	13,2	22,5	28,1	0,0204	0,0339	0,0482
	D	— 4,7	7,6	13,2	20,8	25,5	»	»	»
.Водородъ....	C	+ 9,7	13,8	18,5	32,3	42,0	0,0354	0,0504	0,0675
	D	— 5,0	8,5	13,7	22,2	27,2	»	»	»
VI. Углекислота.	C	+ 4,7	7,3	11,3	18,6	23,3	0,0171	0,0267	0,0412
	D	— 4,7	7,3	11,3	18,6	23,3	»	»	»
V. Окись углер.	C	+ 5,6	8,6	12,6	21,2	26,8	0,0204	0,0314	0,0460
	D	— 5,0	7,3	12,6	19,9	24,8	»	»	»
V. Закись азота	C	+ 4,7	6,6	11,0	17,6	22,3	0,0171	0,0241	0,0401
	D	— 4,8	6,6	11,3	17,9	22,7	»	»	»

Числа, помѣщенныя въ четвертомъ столбцѣ цифръ, получены сложеніемъ результатовъ, изображенныхъ въ столбцахъ второмъ и третьемъ; въ пятомъ столбцѣ означены суммы цифръ трехъ предъидущихъ столбцовъ. Повѣрочные опыты доказали, что выведенныя такимъ-образомъ температуры согласуются съ получаемыми непосредственнымъ опытомъ.

На основаніи приведенной таблицы, кажется, будто пониженіе температуры, вслѣдствіе расширенія газа, вообще менѣе, чѣмъ возвышеніе ея, вслѣдствіе сжатія; но должно замѣтить, что часть теплоты освобождаемой при сжатіи, поглощается стѣнками снаряда, междутѣмъ какъ охлажденіе, при расширеніи, умѣряется теплотою, которую онѣ уступаютъ. Послѣднее дѣйствіе сильнѣе перваго, ибо поршень, поднимаясь, оставляетъ бо́льшую площадь соприкосновенія со стѣнками. Замѣтимъ, что разность между дѣйствіемъ расширенія и сжатія, не одинакова для всѣхъ газовъ; она всего значительнѣе для водорода Фавръ и Зильберманъ объясняютъ это тѣмъ, что водородный газъ проводитъ теплородъ лучше другихъ; дѣйствительно, они замѣчали, что термометръ Брегета достигалъ наибо́льшаго отклоненія въ водородѣ гораздо скорѣе, чѣмъ въ остальныхъ газахъ; они сличили потомъ этотъ результатъ съ выводомъ Андрюса и Грове — что тѣла простываютъ въ водородѣ съ необыкновенною быстротою. До того времени сильно охлаждающее средство водорода приписывали легкой подвижности его частицъ, вслѣдствіе малаго его удѣльнаго вѣса. Объясненіе Фавра и Зильбермана тѣмъ вѣроятнѣе, что водородъ въ своихъ соединеніяхъ играетъ роль металловъ, лучшихъ проводниковъ теплоты; такъ что многіе лучшіе химики принимаютъ водородъ за газообразный металлъ.

Римскія цифры, поставленныя передъ названіями газовъ, означаютъ ихъ теплопроводность, выведенную на основаніи предъидущихъ соображеній.

372. Холодъ производимый испареніемъ. — Мы видѣли (247), что жидкости могутъ обращаться въ пары при обыкновенной температурѣ, безъ нагрѣванія. Въ этомъ случаѣ, скрытый теплородъ заимствуется парами отъ теплоты жидкости и сосѣднихъ тѣлъ, температура которыхъ должна, слѣдовательно, понижаться. Если напр., погрузить руку въ теплую воду, то, по выпутіи ея, ощущается холодъ, производимый испареніемъ. Спиртъ и эѳиръ, которые гораздо болѣе летучи, нежели вода, производятъ и гораздо бо́льшее охлажденіе при своемъ испареніи. Если привести въ движеніе окружаю-

щій воздухъ, то испареніе произойдетъ гораздо быстрѣе и чувство холода сдѣлается ощутительнѣе. Можно заморозить воду въ стеклянной ретортѣ, обернувъ ее ватою, которую поливаютъ эѳиромъ, и облегчая испареніе его постояннымъ дутьемъ изъ мѣховъ. Того же результата достигаютъ, погружая реторту въ эѳиръ, который быстро выпариваютъ подъ пневматическою машиною. Жидкая сѣрнистая кислота, брошенная на воду, немедленно замораживаетъ часть ея. Можно даже привести ртуть въ твердое состояніе при помощи той же сгущенной кислоты, наливъ обѣ жидкости въ одинъ сосудъ, и помѣстя его въ безвоздушномъ пространствѣ. Такимъ способомъ Бюсси (Bussy) получалъ холодъ—68°; на свободномъ воздухѣ онъ понижалъ температуру до—57°.

Замерзаніе воды въ пустомъ пространствѣ. — Лесли обязаны замѣчательнымъ опытомъ, посредствомъ котораго замораживаютъ воду холодомъ, производимымъ ея же испареніемъ: подъ колоколъ воздушнаго насоса (фиг. 251) ставятъ очень тоненькую и неглубокую, серебряную чашечку, въ которую налитъ слой воды. Надъ этою чашечкою устанавливаютъ сосудъ съ крѣпкою сѣрною кислотою. Вытягиваютъ воздухъ, вода испаряется, стараясь насытить пространство своими парами но какъ сѣрная кислота поглощаетъ пары, по мѣрѣ ихъ образованія, то перегонка продолжается и вода столько теряетъ теплоты чрезъ испареніе, что наконецъ замерзаетъ. Такъ-какъ для превращенія 1 грамма воды въ ледъ потребно 79 единицъ теплорода, а 1 граммъ воды, испаряясь при 0, поглощаетъ 606 таковыхъ единицъ, то очевидно, что испареніемъ извѣстнаго количества этой жидкости можетъ превратиться въ ледъ въ $\frac{7}{6}$ разъ большее количество ея.

Фиг. 251.

Вмѣсто сѣрной кислоты Лесли также употреблялъ для поглощенія пара выдѣтрѣлый трамитовый порфиръ, который можетъ поглотить болѣе $\frac{1}{10}$ своего вѣса воды, или же слегка поджаренную, овсяную муку. Послѣднее вещество можетъ служить для замораживанія въ нѣсколько минутъ трети своего вѣса воды.

Уольстонъ придумалъ устранять пары, сгущая ихъ охлажденіемъ. Въ такомъ случаѣ замораживаемая вода помѣщается въ толстой стеклянной трубкѣ изъ которой выгнанъ воздухъ кипяченіемъ, до запайки ламповою оконечности ея. Верхнюю часть трубки окружаютъ сосудомъ, въ который кладутъ охлаждающую смѣсь, такъ что

пары осаждаются вверху трубки, образуя ледяной слой. Такимъ-образомъ происходитъ непрерывная перегонка этой жидкости, какъ въ снарядѣ Гэ-Люссака и она вскорѣ замерзаетъ. Но въ этомъ видѣ опытъ не производитъ такого впечатлѣнія, какъ по способу Лесли; потому-что здѣсь употребляется охлаждющая смѣсь.

373. Примѣненія. Холодомъ, образующимся при испареніи, объясняется прохлада, какая ощущается въ комнатѣ, полъ которой смоченъ водою, въ-особенности, если сквозной вѣтеръ не позволяетъ парамъ насыщать пространство. Въ Бенгаліи окна обдѣлываютъ мокрыми вѣтвями съ листьями; воздухъ, проникающій въ комнаты, охлаждается, проходя между вѣтвями и листьями и вмѣстѣ съ тѣмъ ускоряетъ испареніе влаги. Такимъ способомъ можно понизить температуру на 10° и 15° ниже температуры атмосферы. Подобный результатъ объясняется тѣмъ, что испареніе происходитъ быстро вслѣдствіе большой сухости воздуха.

Прохлада густаго лѣса въ самые жаркіе лѣтніе дни, зависитъ отъ испаренія на поверхности листьевъ и почвы, обыкновенно сырой. Температура человѣческаго тѣла едва повышается въ самую сильную жару, только потому, что поверхность кожи охлаждается незамѣтнымъ испареніемъ, которое усиливается отъ жары, умѣряя въ то же время ея дѣйствіе.

Алкаразасъ. Холодъ, производимый испареніемъ, примѣняется въ нѣкоторыхъ странахъ къ охлажденію воды. Для сего употребляются сосуды изъ пористой, полувыжженой, глиняной массы, сквозь которую вода можетъ просачиваться; подобные сосуды называются алкаразасъ (alcarazas) Имъ придаютъ форму обыкновенной стклявки съ очень расширеннымъ горломъ, вышиною въ 30 сантиметровъ. Эти сосуды ставятъ въ слабомъ теченіи воздуха, и испареніе, происходящее постоянно на наружной мокрой ихъ поверхности, можетъ охладить воду до 10° и 12°, когда внѣшняя температура 30°. Алкаразасъ въ употребленіи, съ незапамятныхъ временъ, въ Египтѣ, Персіи, Индіи, Китаѣ. Въ Испаніи они были введены Арабами, а оттуда проникли во Францію, гдѣ начинаютъ входить въ употребленіе. Лучшіе алкаразасы получаются изъ Андуксара въ Андалузіи. Фабриканты примѣшиваютъ къ глинѣ 5% соли, которая растворяясь, образуетъ множество скважинъ, и дѣлаетъ глину болѣе проницаемою. Фурмй (Fourmy) первый началъ приготовлять во Франціи подобные сосуды и назвалъ ихъ гидроцерамами. Вмѣсто пористыхъ сосудовъ можно употреблять металлическіе сосуды, завернутые въ

полотно, которое по временамъ смачиваютъ; испареніе производитъ холодъ, который сообщается внутрь сосуда.

Замораживаніе воды посредствомъ собственнаго ея испаренія, примѣнялось въ промышленности къ добыванію льда въ бо́льшомъ количествѣ. Вмѣсто-того, чтобы производить пустоту большими пневматическими машинами, Тейлоръ и Мартино (Taylor, Martineau) придумали употребить паръ. Они выгоняли воздухъ изъ обширнаго пріемника посредствомъ пара, который затѣмъ сгущали, поливая холодною водою стѣнки. Потомъ пріемникъ сообщали съ сосудомъ съ водою, которую требовалось заморозить. Для поглощенія пара, выходящаго изъ воды, обыкновенно употребляютъ сѣрную кислоту, которую послѣ употребленія снова концентрируютъ при помощи теплоты, теряемой котломъ паровой машины, которою производятъ пустоту. Еще до этого, Лесли указалъ на трахитовый порфиръ, какъ на самое дешевое поглощающее средство въ теплыхъ странахъ, потому-что его тамъ высушить можно на солнцѣ.

374. Охлаждающія смѣси. Для добыванія искусственнаго холода, бо́льшею частью прибѣгаютъ къ химическимъ дѣйствіямъ. Охлаждающія смѣси, употребляемыя для этого, состоятъ изъ нѣсколькихъ веществъ, изъ которыхъ по-крайней-мѣрѣ одно тѣло твердое, и которыя легко соединяются, образуя жидкость. Хотя при химическомъ соединеніи и освобождается теплота, но здѣсь, при переходѣ въ жидкое состояніе, она также поглощается и потому въ результатѣ получится холодъ, если потеря будетъ болѣе выигрыша. Это доказывается слѣдующимъ опытомъ: одну часть крѣпкой сѣрной кислоты смѣшиваютъ съ четырьмя частями льда — они соединяются и образуютъ жидкость съ температурою въ —20°, потому-что, при переходѣ въ жидкое состояніе, ледъ поглощаетъ нетолько всю теплоту отъ химическаго дѣйствія, но и часть явной теплоты смѣси. Если же на оборотъ, взять 4 части кислоты и одну часть льда, то температура подымется на 50° до 60°, потому-что небольшое количество тающаго льда поглощаетъ только часть теплоты, происходящей отъ соединенія. Холодъ, производимый раствореніемъ солей, заключающихъ въ себѣ воду, также объясняется переходомъ ихъ въ жидкое состояніе.

Вотъ главнѣйшія, самыя употребительныя, охлаждающія смѣси:

НАЗВАНІЯ веществъ.	Число частей	Понижение температуры начиная съ 10°.	Образуемое охлажденіе.	НАЗВАНІЯ веществъ.	Число частей.	Понижение температуры начиная съ 10°.	Образуемое охлажденіе.
Смѣси воды съ солями.							
Вода	1	— 16°	26°	Вода	16	— 16°	26°
Азотнокислый аммiакъ	1			Хлористоводородный аммiакъ	5		
Вода	1	— 19	29	Азотнокислый калiй	5		
Азотнокислый аммiакъ	1			Сѣрнокислый натръ	8		
Средняя углекислая сода	1	— 12	22	Вода	4	»	15°
Вода	16			Хлористоводородный калiй	57		
Азотнокислый калiй	5			Хлористоводородный аммiакъ	32		
Хлористоводородный аммiакъ	5			Азотнокислый калiй	10		
Смѣси льда съ солями.							
Снѣгъ или толченый ледъ	2	»	20°	Снѣгъ или толченый ледъ	5	»	24
Поваренная соль	1			Поваренная соль	2		
Снѣгъ или толченый ледъ	24	»	28	Хлористоводородный аммiакъ	1		
Поваренная соль	10			Снѣгъ или толченый ледъ	12		
Хлористоводородный аммiакъ	5			Поваренная соль	5		
Азотнокислый калiй	5			Азотнокислый аммiакъ	5		
Снѣгъ или толченый ледъ	2	»	18	Снѣгъ или толченый ледъ	3	»	18
Хлористый кальцiй	3			Калiй	4		
Смѣси солей съ разведенными водою кислотами.							
Сѣрнокислый натръ	3	— 19°	29°	Сѣрнокислый натръ	6	— 26	36
Азотная кислота	2			Азотнокислый аммiакъ	5		
Сѣрнокислый натръ	6	— 23	33	Азотная кислота	4		
Хлористоводородный аммiакъ	4			Сѣрнокислый натръ	20	— 8,15	18,15
Азотнокислое калiй	2			Сѣрная кислот въ 36°	16		
Азотная кислота	4			Сѣрнокислый натръ	8	— 17	27
Фосфорнокисл. натръ	9	— 29	39	Хлористоводородная кислота	5		
Азотная кислота	4						

Первыми опытами надъ охлаждающими смѣсями, мы обязаны флорентійскимъ академикамъ. Потомъ изъисканіями по этому предмету занимались Фаренгейтъ, де-Меранъ (Mairan) и, въ-особенности Реомюръ, рядъ опытовъ котораго надъ холодомъ, производимымъ смѣсью различныхъ солей и кислотъ со льдомъ, описанъ въ запискахъ Парижской Академіи Наукъ (1734 г.). Впослѣдствіи другіе физики значительно увеличили списокъ охлаждающихъ смѣсей.

Наиболѣе употребительныя смѣси: ледъ и поваренная соль, вода и азотнокислый аммиакъ, сѣрнокислый натръ и хлористоводородная кислота. По употребленіи можно изъ первыхъ двухъ смѣсей, обратно получить соль, выпаривая растворъ на солнцѣ, или на огнѣ; а изъ послѣдней, чрезъ перегонку смѣси въ стеклянной ретортѣ, причемъ отдѣляется хлористоводородная кислота.

Холодъ, производимый охлаждающими смѣсями, необходимо долженъ имѣть предѣлъ, потому-что соль перестаетъ распускаться при слишкомъ низкой температурѣ и даже выдѣляется, еслибы растворъ былъ приготовленъ въ началѣ. Чтобы получить посредствомъ извѣстной смѣси наибольшій холодъ, нужно употреблять соль въ самомъ мелкомъ порошкѣ, сухую, по нелишенную кристаллизаціонной воды, и производить смѣшеніе мало-по-малу, при постоянномъ взбалтываніи; кстому же сосудъ и смѣшиваемыя вещества должны быть достаточно холодны. Для этого ихъ охлаждаютъ иногда предварительно, при помощи такой же смѣси. Кромѣ-того нужно устранить сколь возможно вліяніе внѣшней температуры, для чего сосудъ обкладывается нѣсколькими концентрическими оболочками.

Въ холодильникѣ Вильнёва (Villeneuve) три оболочки; между внѣшней и среднею помѣщается дурной проводникъ, между среднею и внутреннею вода или ледъ Вещество, которое нужно заморозить, вкладывается въ оловянный цилиндръ мороженную форму, sorbetière или sarbotière) и опускается въ сосудъ съ охлаждающими смѣсями Цилиндръ снабжается наклонными крыльями для взбалтыванія смѣси, и плотно закрывается крышкою съ ручкою на верху, назначенною для обращенія цилиндра.

Самыя сильныя, охлаждающія смѣси составляются при помощи твердой угольной кислоты. Температура ея на открытомъ воздухѣ опускается ниже—80° Въ соединеніи съ эѳиромъ, который дѣлаетъ ее хорошимъ проводникомъ, твердая угольная кислота даетъ составъ, при помощи котораго приводятъ въ жидкое состояніе различные газы. Самая сильная доселѣ извѣстная охлаждающая смѣсь со-

ставляется изъ смѣси этого состава съ жидкою закисью азота. Эта смѣсь доводитъ алкоголь до такой степени густоты, что онъ не выливается изъ опрокинутаго сосуда.

Г. О механическомъ эквивалентѣ теплоты.

375. Возвращаясь къ первой части этой главы, мы видимъ, что для произведенія теплоты необходимо израсходовать нѣсколько *механической работы*; напримѣръ, производить треніе или толчокъ, или давленіе. Самыя химическія дѣйствія сопровождаются динамической работой, потому-что онѣ ни что иное, какъ движеніе частицъ. Въ то время, какъ проявляется теплота, расходуется и уничтожается механическая работа. И обратно, теплота производитъ механическія дѣйствія. Напримѣръ, она расширяетъ тѣла, придаетъ пару его упругость и вообще производя какую-нибудь работу, уменьшается пропорціонально произведенной работѣ. Такъ расширеніе газовъ, паровъ, сопровождается пониженіемъ температуры. Изъ этого вывели, что механическая работа, уничтожаясь, превращается въ теплоту, а теплота, исчезая, обращается въ динамическую работу

Механическій эквивалентъ теплоты На этомъ основаніи, называютъ *механическимъ эквивалентомъ теплоты* количество работы, произведенной одной единицей теплорода, и принимаютъ, что это же самое количество работы, употребленное для произведенія тренія, сгущенія, газа и т. д., произвело бы съ своей стороны одну единицу теплорода. Посмотримъ прежде всего, какъ открыли эту взаимную зависимость теплоты и механической работы

Монгольфьѐ, около 1800 года, первый обратилъ вниманіе на способность теплоты обращаться въ механическую работу и обратно. Онъ изобрѣлъ даже снарядъ, названный имъ *пиротараномъ* (pyrobélier), который приводился въ дѣйствіе постояннымъ количествомъ воздуха, нагрѣваемаго для увеличенія его упругости, и которому опять возвратили теплоту, утраченную при расширеніи; такимъ-образомъ дѣйствіе машины было непрерывное. Но идеи Монгольфьѐ прошли незамѣченными, онѣ противорѣчили тогда господствовавшимъ теоріямъ, относительно образа дѣйствія пара въ теплодвигателяхъ. Въ нихъ, казалось, механическое дѣйствіе производилось безъ пониженія температуры паровъ, ибо по закону Уата, количество теплоты поглощаемое однимъ килограммомъ воды при 0°, чтобъ превратиться въ пары, не измѣняется при какомъ бы то ни было давленіи.

Въ 1824 году, Карно (Carnot) предложилъ теорію, впослѣдствіи развитую Клапейрономъ, въ которой онъ допускалъ, что теплота, проходя чрезъ теплодвигатель, не израсходуется, потому-что пары только играютъ роль проводника. Такимъ-образомъ количество теплоты, заключающейся въ парахъ, входившихъ въ паровой цилиндръ, не должно было уменьшаться выходя въ атмосферу, или въ холодильникъ. Эта теорія теперь совершенно оставлена. Сегенъ (Seguin старшій, послѣдователь Монгольфьѐ, первый утверждалъ, что механическое дѣйствіе есть всегда послѣдствіе потери теплоты, и что это дѣйствіе пропорціонально количеству тепла ея, уничтожающемуся при проходѣ пара чрезъ машину *. То же самое происходитъ и съ газами, когда ихъ упругость, увеличенную нагрѣваніемъ, примѣняютъ къ дѣйствіе машинъ. Эта теорія сначала нашла мало послѣдователей, но вскорѣ наука сдѣлала огромные шаги впередъ, и мы видимъ явленіе, котораго исторія науки представляетъ нѣсколько примѣровъ: многіе физики, французъ Реньо, англичане Джаулъ (Joule, Томсонъ и Ранкинъ, нѣмцы Майеръ и Клаузіусъ приняли и развили почти подобныя же теоріи, основываясь частью на вычисленіяхъ, частью на опытахъ. Новое ученіе подтверждено, между прочимъ, убѣдительными опытами Гирна Ніги, **). Онъ замѣчаетъ съ самаго начала, что согласно идеи Карно, при пропусканіи въ воду всѣхъ паровъ изъ машины безъ холодильника, вся теплота паровъ должна была бы находиться въ водѣ; тогда двигательная сила, производимая проходомъ пара чрезъ машину, получалась бы безъ всякой потери теплоты. Въ такомъ случаѣ аксіома *ex nihilo nihil*, приводимая г. Майеромъ по поводу вопроса насъ занимающаго, была бы совершенно ложна. Гирнъ производилъ свои опыты надъ паровой машиной съ холодильникомъ и съ расширеніемъ, снабженной чехломъ Уата, въ 106 силъ. Онъ нашелъ, что пары, проходя чрезъ эту машину, теряли до десятой части теплоты, полученной ими изъ паровика, или приблизительно 24 единицы теплорода въ секунду. Уничтожавшаяся теплота обращалась въ механическую работу.

Изъ предъидущаго видно, что для полученія значительнаго количества механической работы, должно стараться какъ можно болѣе

---

*) Очевидно, что тутъ не подразумѣвается потери теплоты чрезъ лучеиспусканіе и прикосновеніе съ воздухомъ,—этой потери надобно всегда старательно избѣгать.

** Cosmos, Revue des progrès des sciences, t. VI, 1855, p. 679.

уничтожить теплоты, т. е., предоставить парамъ при входѣ въ холодильникъ очень малую степень давленія. Отъ этого происходитъ выгода машинъ съ расширеніемъ. Впрочемъ теплота, употребленная въ пользу, т. е. превратившаяся въ механическую работу, есть только часть, и очень небольшая, той, которую имѣли пары первоначально. По Реньо *), въ машинѣ съ расширеніемъ безъ холодильника, силою въ 5 атмосферъ, пары имѣютъ при входѣ 653 единицы теплорода, а при выходѣ 637, т. е., они потеряли теплорода 16 единицъ, или $\frac{1}{40}$. Въ машинѣ съ холодильникомъ, силою въ 5 атмосферъ, въ холодильникѣ которой давленіе равняется 55 миллиметрамъ ртутнаго столба теплота, употребленная на работу, достигаетъ до 34 единицъ, или $\frac{1}{20}$ всей теплоты, доставляемой паровикомъ. Изъ этого видно, какъ полезно было бы употребить вновь эти же пары, возвративъ имъ потерянную теплоту, вмѣсто того, чтобъ впускать новыя. Въ этомъ-то и заключается тайна той огромной экономіи, которая получается въ паровыхъ машинахъ съ подогрѣтымъ паромъ, о которыхъ мы сказали нѣсколько словъ въ предъидущей главѣ. — Въ машинахъ съ нагрѣтымъ воздухомъ, въ которыхъ выходящій газъ отдаетъ остатокъ теплорода металлическимъ сѣткамъ, служащимъ для нагрѣванія вновь притекающаго воздуха, долженствующаго дѣйствовать въ свою очередь 953), также получается значительная экономія въ теплотѣ.

Изъ другихъ опытовъ, которыми мы также обязаны Джаулу, слѣдуетъ, что теплоты теряется столько, сколько производится механической работы. Во-первыхъ, припомнимъ результаты полученные (983) при помощи двухъ равныхъ пріемниковъ, изъ которыхъ одинъ совершенно пустъ, а другой наполненъ воздухомъ подъ давленіемъ 20-ти атмосферъ; если ихъ привести въ сообщеніе, то вода, въ которую они погружены, не ощутитъ никакой перемѣны температуры, потому-что въ этомъ случаѣ не происходитъ механической работы. Во-вторыхъ, Джаулъ далъ освободиться воздуху, сдавленному подъ колоколомъ, наполненномъ водою, газъ разрѣдился, производя механическую работу, потому-что вода была приведена въ движеніе, и въ то же время нѣкоторое количество теплорода скрылось. Изъ этихъ результатовъ, подтвержденныхъ Реньо, слѣдуетъ заключить, что расширеніемъ газа поглощается теплородъ тогда только, когда оно сопровождается механическою работою.

---

*) Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XXXVI, p. 676.

Замѣтимъ также слѣдующіе опыты, подтвержденные Реньб. Масса газа проходитъ чрезъ змѣевикъ, гдѣ она нагрѣвается до 100°, и потомъ чрезъ калориметръ, заключающій воду при 0°. Повышеніе температуры воды одно и то же, будетъ ли газъ находиться подъ давленіемъ одной или 10-ти атмосферъ. Но если газъ разрѣжается въ калориметрѣ, такъ что изъ подъ давленія 10 атмосферъ переходитъ въ атмосферное давленіе, то вода нагрѣвается *болѣе*. Этотъ неожиданный результатъ показываетъ, какъ трудно въ нѣкоторыхъ случаяхъ, выводить заключенія изъ измѣненій упругости газовъ, сопровождаемыхъ механическою работою, которую трудно вычислить, такъ-какъ результатъ зависитъ отъ образа этихъ измѣненій и отъ порядка, въ которомъ они происходятъ.

376. Слѣдствія. — Механическая теорія теплоты влечетъ за собою нѣкоторое измѣненіе въ понятіяхъ находящихся во всеобщемъ ходу, относительно количества теплорода, заключаемаго тѣлами. Такъ, уже нельзя сказать, что количество теплорода, заключающееся въ упругой жидкости, или какомъ нибудь тѣлѣ, остается одно и то же, когда это тѣло, претерпѣвъ различныя измѣненія, возвращается въ свое первоначальное состояніе; это будетъ имѣть мѣсто только въ такомъ случаѣ, когда существуетъ совершенное равенство между потраченною и произведенною работою во время этихъ различныхъ измѣненій, и это зависитъ также отъ образа, которымъ они были произведены. Точно такъ же, когда газъ изъ температуры t и давленія h, переходитъ къ температурѣ t' и давленію h', то освобождаемый имъ теплородъ зависитъ нетолько отъ его первоначальнаго или окончательнаго состоянія, но и отъ образа, которымъ совершился этотъ переходъ изъ одного состоянія въ другое

Теплоту, которая дѣлается скрытою, при переходѣ тѣла въ жидкое состояніе, не слѣдуетъ считать только неосязаемою, но какъ-бы уничтожившуюся, или лучше, перешедшею въ механическую работу. Напримѣръ, когда какое-нибудь тѣло таетъ, то происходитъ внутренняя работа, употребляемая на то, чтобы разъединить частицы и сдѣлать ихъ болѣе свободными одну отъ другой; отсюда поглощеніе теплорода. Это количество теплорода и есть эквивалентъ произведенной работы, что объясняетъ, почему оно пропорціонально коэффиціенту упругости, какъ это показалъ Персонъ (Person) для металловъ. Когда жидкость переходитъ въ твердое состояніе, то внутрен-

няя работа, соединяющая частицы, обнаруживается теплородомъ; вотъ почему возникаетъ теплота, которую мы ощущаемъ.

Когда вода переходитъ въ состояніе паровъ, то происходитъ *внутренняя* работа для уничтоженія частичнаго притяженія, и *внѣшняя* работа, для побѣжденія препятствій, могущихъ противиться расширенію паровъ. Напротивъ, когда приводятъ пары въ жидкое состояніе, посредствомъ давленія, то производятъ внѣшнюю работу, при давленіи, и происходитъ внутренняя работа, вслѣдствіе сцѣпленія связывающаго частицы; та и другая работа, исчезая, превращается въ теплородъ. Въ современномъ состояніи науки эту внутреннюю работу нельзя вычислить; но при приведеніи тѣлъ въ ихъ первоначальное состояніе, какъ это дѣлалъ Карно, происходитъ вознагражденіе между произведенною и истраченною частичною работой, также какъ и между соотвѣтствующими имъ количествами теплорода, и остается только дѣйствіе внѣшней работы.

377. Выводъ величины механическаго эквивалента теплорода. Изъ предъидущей теоріи слѣдуетъ, что величина механическаго эквивалента теплорода не должна зависѣть отъ природы тѣла, служащаго ему проводникомъ и чрезъ посредство котораго онъ замѣняется въ механическую работу. Слѣдовательно, какимъ-образомъ ни поступали при изслѣдованіи, результатъ долженъ быть одинъ и тотъ же.

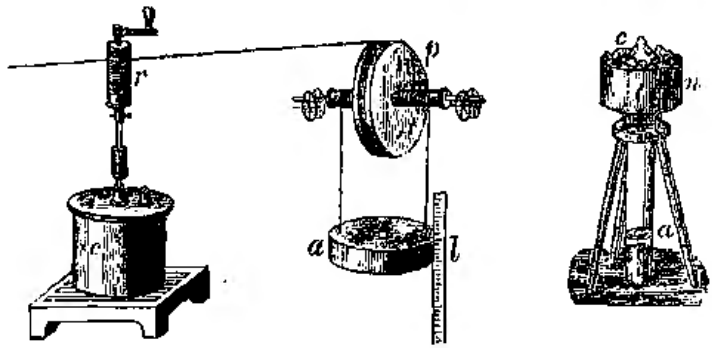
Джаулъ выводилъ величину механическаго эквивалента теплорода различными способами, обративъ вопросъ, т. е., вычисляя количество теплорода, производимое при извѣстномъ расходѣ механической работы. Первый способъ основанъ на сдавливаніи газовъ; подвергаютъ воздухъ давленію приблизительно 22 атмосферъ въ мѣдномъ сосудѣ, который вмѣстѣ съ нагнетательнымъ насосомъ, погруженъ въ воду калориметра. Сдѣлавъ 300 ударовъ поршнемъ, замѣчаютъ повышеніе температуры воды. Такъ-какъ часть нагрѣванія происходитъ отъ тренія поршня, то слѣдуетъ привести въ извѣстность дѣйствіе этой причины. Для этого выпускаютъ воздухъ изъ пріемника и даютъ еще 300 ударовъ, прекративъ сообщеніе насоса съ атмосферпымъ воздухомъ. Повышеніе температуры происходитъ тогда единственно отъ тренія; но это треніе не равно производимому поршнемъ, во время сдавленія воздуха. Производя предварительно опыты надъ тѣмъ, какъ измѣняется количество теплоты, когда подъ поршень вводятъ воздухъ, прекративъ сообщеніе съ атмосферою и пріемникомъ, можно сдѣлать требуемую повѣрку. Работа употребленная на сжатіе воздуха, вычисляется посредствомъ Маріоттова закона, предполагая извѣстными пре-

дѣлъ движенія поршня, его площадь и первоначальное, равно какъ и конечное, давленіе въ пріемникѣ. Посредствомъ этого способа, Джаулъ нашелъ для механическаго эквивалента теплоты, среднюю величину 444 килограмметровъ.

Въ другомъ рядѣ опытовъ, тотъ же физикъ пропускалъ сжатый воздухъ изъ пріемника подъ колоколъ, наполненный водою, температура въ пріемникѣ понизилась, и изъ механической работы, соотвѣтствующей разрѣженію газовъ, онъ вывелъ, на основаніи трехъ отдѣльныхъ опытовъ, величины 451^{km}, 447^{km} и 418^{km}.

Треніе жидкостей. Джаулъ также дѣлалъ изслѣдованія на основаніи теплоты, освобождающейся при треніи жидкостей. Онъ употреблялъ приборъ, уже описанный и изображенный въ разрѣзѣ (фиг. 219), внѣшняя часть, котораго видна въ *c* (фиг. 251). Ось *n* пластинокъ, ко-

фиг. 251. фиг. 252.

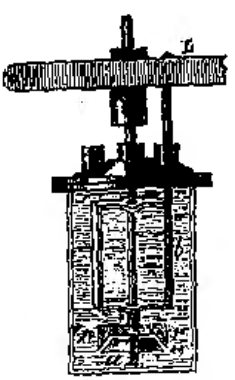


торыми мѣшаютъ воду, приводится въ движеніе шнуромъ *rp*, который наматывается однимъ своимъ концомъ на цилиндръ *r*, а другимъ на блокъ *p*, приводимый въ движеніе тяжестью *a*. Ось блока лежитъ на цѣлой системѣ блоковъ тренія, устроенной, какъ въ Атвудовой машинѣ. Другой шнуръ, намотанный по направленію противоположному, также дѣйствуетъ на цилиндръ *r*; онъ наматывается на блокъ, расположенный какъ блокъ *p*, и приводимый въ движеніе тяжестью, равною тяжести *a*. Для произведенія опыта подымали гири посредствомъ рукоятки, придѣланной къ цилиндру *r*, и замѣтивъ температуру сосуда *c*, давали имъ отпускаться до самаго пола лабораторіи. Эту операцію повторяли разъ двадцать, и замѣчали повышеніе температуры. Высчитывали потерю отъ лучепускания, замѣчая ходъ термометра во время, равное продолженію опыта. Затѣмъ, не трудно было опредѣлить количество единицъ теплорода, возбужденное движеніемъ воды. Что же касается до работы гирей, то измѣряли, умноживъ ихъ вѣсъ

на проходимое ими пространство, двадцать разъ взятое. Чтобы найти работу, передаваемую мѣшалкѣ, слѣдуетъ еще вычислить количество ея, теряющееся отъ тренія. Для этого цилиндръ r отдѣляли отъ мѣшалки, и соединяли оба блока посредствомъ одного шнура, обмотаннаго вокругъ этого цилиндра такимъ-образомъ, чтобы гири находились въ равновѣсіи. Тогда отыскивали, какой вѣсъ слѣдуетъ прибавить къ одной изъ массъ a, чтобы она опускалась съ равномѣрнымъ движеніемъ. Работа этого прибавочнаго вѣса очевидно равняется работѣ, поглощаемой треніемъ. Величина эквивалента, найденная этимъ способомъ, была 430 килограмметровъ. Опыты сдѣланные съ ртутью дали 452.

Треніе твердыхъ тѣлъ. Чугунное колесо, съ заостреннымъ краемъ a (фиг. 253) входитъ въ другое колесо $r\,r$, которое продавливается къ нему, посредствомъ стержня b рычага L; весь снарядъ погружается въ чугунный сосудъ съ ртутью. Движеніе сообщается колесу a посредствомъ системы блоковъ, уже описанной выше (фиг. 253). Найденный эквивалентъ равняется 432 килограмметрамъ.

фиг. 253.



Во всѣхъ этихъ опытахъ выводятъ эквивалентъ количества теплоты, произведенный данною работою. Но были дѣланы и другіе опыты, съ цѣлью найти прямо механическое дѣйствіе, производимое исчезновеніемъ извѣстнаго количества теплорода. Майеръ, давая разрѣжаться газамъ, нашелъ величину 367 килограмметровъ, а Сегенъ получилъ, на основаніи расширенія паровъ, величину 449 килограмметровъ.

Персонъ достигнулъ того же результата, до котораго дошелъ Джаулъ посредствомъ слѣдующаго разсчета, основаннаго на началѣ, что газъ не теряетъ теплорода, разрѣжаясь въ пустомъ пространствѣ. Станемъ разсматривать 1 кубическій метръ воздуха при 0° и подъ давленіемъ H килограммовъ на квадратный метръ. Пусть p, c и a будутъ вѣсъ этой массы воздуха, его удѣльный теплородъ при постоянномъ объемѣ, и коэффиціентъ его расширенія. Положимъ, что мы нагрѣли этотъ газъ на 1°, не дозволяя ему притомъ расшириться; ясно, что для него потребуется количество теплоты равное $p\,c$, а давленіе сдѣлается равнымъ $H\,(1+a)$. Если теперь открыть сообщеніе съ пустымъ пространствомъ, равнымъ a части кубическаго метра, то давленіе будетъ снова равняться H, а количество теплорода, содер-

жимое газомъ, останется то же. Затѣмъ, предположимъ, что нагр раютъ на одинъ градусъ тотъ же объемъ воздуха, взятый при 0° при давленіи H, предоставивъ ему на этотъ разъ свободно расширяться, потребуется сообщить ему количество теплорода, равное pC, гдѣ C означаетъ удѣльный теплородъ воздуха при постоянномъ давленіи. Объемъ сдѣлается равенъ $1+\alpha$, при давленіи H и температурѣ 1°, какъ и въ предъидущемъ случаѣ, гдѣ количество теплорода равняется только pc. Во второмъ случаѣ, расширеніе произвело работу αH, между-тѣмъ какъ въ первомъ случаѣ не произведено никакой работы. Итакъ, разность $pC - pc$ изображаетъ теплородъ, употребленный на исполненіе работы αH. Слѣдовательно, работа, произведенная единицею теплорода, будетъ $\alpha H : p(C-c)$. Предполагая, что давленіе воздуха равняется 76^{cm}, получимъ $H = 10334^{k}$ и $p = 1^{k},293$ принимая $c = \frac{279}{333} = 0,1686$, по Лапласу, и $C = 0,2377$, по Реньо, изъ этого находимъ 424 килограмметра для работы произведенной единицею теплорода.

378. Примѣчанія. — Величины, выражающія механическій эквивалентъ теплорода, не могутъ быть получены иначе, какъ приблизительно; потому-что результатъ зависитъ отъ того, какимъ-образомъ приборъ употребляетъ эту теплоту или работу, которыя исчезаютъ, чтобы превратиться въ работу или теплоту, а равно и отъ того, что пріемникъ механическаго дѣйствія не употребляетъ съ пользою всего количества производящей силы. Впрочемъ, кажется, что легче измѣнить большое количество работы въ теплоту, чѣмъ сдѣлать противное; замѣчательные результаты, которые дастъ теплородный приборъ Бомона и Майера представляютъ тому доказательство.

Мы не оставимъ этого предмета, не замѣтивъ, что механическая теорія теплоты находится въ самомъ младенчествѣ; она еще представляетъ многочисленные недостатки, и покуда еще не можетъ быть защищена отъ многихъ возраженій, за отсутствіемъ положительныхъ данныхъ. Несмотря на то, мы не могли пройти со молчаніемъ, потому-что теперь она служитъ предметомъ трудовъ многихъ знаменитыхъ ученыхъ, и потому, что она имѣетъ высокое научное значеніе и большую важность касательно промышленныхъ примѣненій.